

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Departamento de Geologia



**Análise de risco de instabilidade de arribas em São
Pedro de Moel**

Raquel Alexandra Pequeno Soares

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ciências do Mar

2013

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



**Análise de risco de instabilidade de arribas em São
Pedro de Moel**

Raquel Alexandra Pequeno Soares

Dissertação

Mestrado em Ciências do Mar

Orientadores: Prof. Doutor José Luís Zêzere e Prof. Doutor Fernando
Marques

2013

RESUMO

A costa de São Pedro de Moel no distrito de Leiria, Portugal, é dominada por arribas calcárias e margosas do jurássico, onde os principais riscos geológicos costeiros resultam do confronto entre a ocupação humana e a recessão da arriba, numa evolução dominada por movimentos de vertente, ao longo de cerca de 1000 metros de frente rochosa. Nesta dissertação a análise do risco foi baseada na fórmula que relaciona a probabilidade espaço-temporal de ocorrência e a probabilidade de magnitude (perigosidade), a vulnerabilidade e o valor económico dos elementos expostos. Paralelamente, identificaram-se detalhadamente os elementos expostos considerados, edifícios e rede viária, e procedeu-se à caracterização das estruturas que permitiu calcular a consistência construtiva de modo heurístico, essencial à análise do grau de danos expectável. Avaliou-se individualmente o valor económico de cada elemento e realizou-se uma estimativa dos danos potenciais em resultado da instabilidade da vertente. Os resultados revelam que grande parte dos elementos expostos encontram-se em áreas de baixa probabilidade de ocorrência, razão pela qual, o cálculo do risco anual revela valores consideravelmente baixos; no entanto, em termos potenciais este valor sofre um grande incremento, podendo atingir-se valores iguais ao real valor económico dos elementos.

Palavras-chave: arriba, movimentos de vertente, elementos expostos, perigosidade, vulnerabilidade, risco.

ABSTRACT

The coast of the São Pedro de Moel in Leiria district, Portugal, is dominated by sea-cliffs, cut on Jurassic limestone and marls, where the main coastal geologic risk result from the conflict between human occupation and sea-cliff recession, which is dominated by landslides, along a 1000 m cliff front. This thesis aims to analyze coastal cliffs risk based on the formula that combines the landslide spatial-temporal probability and the landslide magnitude probability (hazard), the physical vulnerability index and the economic value of elements exposed (buildings and roads). In addition, the exposed elements were identified in detail and its characteristics are used to evaluate the constructive consistency, which is essential to assess the expected degree of loss of the exposed elements. The economic value was assessed for each single element allowing estimating potential losses as a result of slope instability. The obtained results show that most elements are exposed in areas of very low probability, and because of that the value of the total annual risk is considered low. Nevertheless, the potential losses are high reaching up equal to the real economic value of the exposed elements.

Keywords: coastal cliff, landslides, exposed elements, hazard, vulnerability, risk.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT.....	iii
ÍNDICE GERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
FIGURAS DE QUADROS	xi
AGRADECIMENTOS.....	xiii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	3
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
2.1 - ENQUADRAMENTO GERAL E LOCALIZAÇÃO.....	9
2.2 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA	10
2.3 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	12
2.4 - DINÂMICA COSTEIRA	14
2.5 - OCUPAÇÃO HUMANA/ USO DO TERRITÓRIO	16
CAPÍTULO 3 – INSTABILIDADE DE ARRIBAS E RISCO ASSOCIADO	21
3.1 - ASPETOS GERAIS DA EVOLUÇÃO DAS ARRIBAS.....	21
3.2 - FATORES DA INSTABILIDADE	22
3.3 TIPOS DE MOVIMENTOS.....	23
3.4 - RISCO: DEFINIÇÕES E ABORDAGENS	26
3.4.1 - PERIGOSIDADE.....	28
3.4.2 – SUSCETIBILIDADE	28
3.4.3 - VULNERABILIDADE	29
3,4,4 - ELEMENTOS EXPOSTOS	29
CAPITULO 4 – METODOLOGIA APLICADA NA ANÁLISE DO RISCO E BASE DE DADOS	33

4.1 – METODOLOGIA DE ANÁLISE DO RISCO.....	33
4.2 – INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E BASE DE DADOS	35
4.3 - ELEMENTOS EXPOSTOS: TIPOLOGIA E CARACTERÍSTICAS.....	38
4.3.1 - EDIFÍCIOS.....	38
4.3.2 - REDE VIÁRIA.....	40
4.4 - INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE	41
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE, VULNERABILIDADE E VALOR ECONÓMICO	47
5.1 - DETERMINAÇÃO DA PERIGOSIDADE	47
5.1.1- PROBABILIDADE ESPÁCIO-TEMPORAL.....	48
5.1.2 - PROBABILIDADE DE MAGNITUDE	51
5.2 – DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESTRUTURAL	54
5.2.1 - AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA CONSTRUTIVA.....	54
5.2.2 - GRAUS DE DANO NA DEPENDÊNCIA DA MAGNITUDE DOS MOVIMENTOS	60
5.3 - ESTIMATIVA DO VALOR ECONÓMICO	63
5.4 - ANÁLISE DO RISCO: DANO POTENCIAL E RISCO DIRETO	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
I LIVROS E ARTIGOS	85
II DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS	93
III DOCUMENTOS ESTATÍSTICOS.....	93
ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Enquadramento regional da localidade de São Pedro de Moel	9
Figura 2.2 Litologia em São Pedro de Moel. Adaptado de Carta Geológica de Portugal - 22d	11
Figura 2.3 Setor de arriba em São Pedro de Moel (Vista para norte)	12
Figura 2.4 Temperaturas no período de 1951-1980 na estação climatológica de São Pedro de Moel. <i>Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980, Serviço de Meteorologia Nacional, 1991.</i>	13
Figura 2.5 Precipitação mensal média no período 1951-80 na estação climatológica de São Pedro de Moel. <i>Fonte: Normais Climatológicas de 1951-80, Serviço Nacional Meteorológico, 1991.</i>	14
Figura 2.6 Direção da ondulação. Aquisição de dados pelas boias ondógrafo de Leixões e Sines desde 2009. <i>Fonte: Instituto Hidrográfico, Portugal.</i>	15
Figura 2.7 Altura significativa e máxima da onda. Aquisição de dados pelas boias ondógrafo de Leixões e Sines desde 2009. <i>Fonte: Instituto Hidrográfico, Portugal.</i>	16
Figura 3.1 Fatores dos movimentos de vertente (<i>adaptado de Popescu, 1994 in Zezere, 2005</i>)	23
Figura 3.2 Tipos de movimentos de massa (<i>adaptado de T. Sunamura, 1992 in Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) - Riscos Costeiros, 2010</i>).	24
Figura 3.3 Modelo concetual do Risco (<i>Adaptado de Panizza, 1990 e Zezere, 2005</i>)	27
Figura 4.1 Procedimentos metodológicos da análise de risco em São Pedro de Moel	34
Figura 4.2 Cartografia dos edifícios, rede viária e limites da BGRI em São Pedro de Moel	37
Figura 4.3 Tipologia dos edifícios em São Pedro de Moel em função da respetiva função	38
Figura 4.4 Edifício com função residencial	39
Figura 4.5 Edifício com função comercial (hotel)	39

Figura 4.6 Edifício com valor histórico-cultural (Farol)	39
Figura 4.7 Edifício da classe "outros edifícios ou estruturas" (Posto de segurança) ...	39
Figura 4.8 Tipologia da rede viária em São Pedro de Moel	40
Figura 4.9 Ruas calçadas no aglomerado urbano de São Pedro de Moel	41
Figura 4.10 Avenida do Farol. Estrada Municipal	41
Figura 4.11 Distribuição espacial dos movimentos de vertente e respetiva litologia da Polvoeira à Praia Velha	42
Figura 4.12 Inventário dos movimentos de vertente ocorridos entre a Polvoeira e a Praia Velha	43
Figura 5.1 Relação magnitude-frequência com base no inventário das instabilidades	48
Figura 5.2 Probabilidade de ocorrência de movimentos em São Pedro de Moel	50
Figura 5.3 Exemplo de método adotado quando um elemento abrange duas classes de probabilidade	51
Figura 5.4 Relação entre a área e a frequência normalizada dos movimentos de vertente identificados na arriba entre a Polvoeira e a Praia Velha	53
Figura 5.5 Técnicas de construção dominantes em São Pedro de Moel	57
Figura 5.6 Número de pisos dos edifícios em São Pedro de Moel	57
Figura 5.7 Estado de conservação dos edifícios em São Pedro de Moel	58
Figura 5.8 Consistência construtiva dos edifícios e rede viária em São Pedro de Moel	59
Figura 5.9 Vulnerabilidade estrutural dos edifícios e rede viária em São Pedro de Moel segundo o cenário de magnitude (áreas em m ²)	62
Figura 5.10 Valor económico dos edifícios e rede viária em São Pedro de Moel	67
Figura 5.11 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de 1m ² em São Pedro de Moel	70
Figura 5.12 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de 10m ² em São Pedro de Moel	71

Figura 5.13 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de 100m ² em São Pedro de Moel	72
Figura 5.14 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de 1000m ² em São Pedro de Moel	73

FIGURAS DE QUADROS

Quadro 2.1 Temperatura média anual máxima, média anual mínima, média anual e amplitude térmica anual no período 1951-80 na estação climatológica de São Pedro de Moel. <i>Fonte: Normais Climatológicas de 1951-80, Serviço de Meteorologia Nacional, 1991.</i>	13
Quadro 2.2 População residente entre 1911 e 2011. <i>Fonte: ¹Santos, 1996 ²Censos - INE</i>	17
Quadro 2.3 Número de fogos/alojamentos entre 1911 e 2011. <i>Fonte: ¹Santos, 1996 ²Censos - INE</i>	18
Quadro 4.1 Campos atribuídos aos elementos edificados na base de dados. <i>Adaptado de Silva, 2011.</i>	36
Quadro 4.2 Características dos movimentos segundo a litologia.....	44
Quadro 5.1 Probabilidade de magnitude dos movimentos de vertente nas arribas de São Pedro de Moel	53
Quadro 5.2 Parâmetros de avaliação da consistência construtiva dos edifícios. (Adaptado de Silva, 2011).....	55
Quadro 5.3 Relação tipo de dano e grau de vulnerabilidade (adpatado de Alexander, 1989 in Garcia, 2012)	61
Quadro 5.4 Coeficientes de Afetação e Localização dos edifícios em São Pedro de Moel.....	64
Quadro 5.5 Coeficiente de vetustez segundo a idade dos edifícios	65
Quadro 5.6 Montates de referência para cada tipologia de rodovia (Adaptado de Silva, 2011)	66
Quadro 5.7 Dano Potencial em São Pedro de Moel, segundo a magnitude (área em m ²)	68

Quadro 5.8 Risco direto em São Pedro de Moel de acordo com a magnitude dos movimentos de vertente (área em m2).....	74
Quadro 5.9 Risco direto em São Pedro de Moel, para um cenário de magnitude de 1m2, para diferentes períodos temporais.....	75

AGRADECIMENTOS

O crescente interesse pela “linha de encontro entre um elemento essencialmente dinâmico como é o mar, com outro, fundamentalmente estático, que é a terra firme” (González Paz, 1982, p.98) veio crescendo ao longo da minha formação académica. O mestrado em Ciências do Mar dilatou esta paixão, por isso decidi dedicar-me ao ambiente costeiro, às arribas em especial, e elegê-lo como tema da minha dissertação de mestrado. Ao longo deste percurso muitas foram as pessoas que contribuíram para a realização da mesma, como forma de agradecimento a elas dedico as próximas páginas.

Aos meus orientadores, Prof. Doutor José Luís Zêzere e Prof. Doutor Fernando Marques, por toda a disponibilidade demonstrada e transmissão de conhecimentos, apoio e incentivo, e pelas preciosas sugestões e correções.

Agradeço também ao Doutor Ricardo Garcia, Doutor Sérgio Oliveira, e Doutora Susana Pereira pelas sugestões e opiniões que auxiliaram à orientação deste trabalho.

À Câmara Municipal da Marinha Grande, especialmente à Dra. Teresa Marrazes, chefe da divisão de ordenamento do território, pela simpatia e disponibilidade em receber-me, por toda a informação que me facultou, cedência de dados e esclarecimento de dúvidas.

Aos técnicos do IPMA que simpaticamente me receberam e cederam toda a informação necessária.

Aos meus colegas de Geografia que desde 2007 me acompanham, eles sabem quem são, por todo o companheirismo, momentos passados, pelas aventuras inesquecíveis vividas, e pela amizade que perdura, muito obrigada.

À minha família e amigos, por todas as preocupações e curiosidades, em especial aos meus pais e irmãos, por todo o apoio e incentivo durante este longo percurso.

Aos habitantes de São Pedro de Moel e à comissão de moradores do Bairro dos Naturais com quem me cruzei, e que simpaticamente me deram a conhecer a realidade com que se deparam a apenas poucos metros de suas casas.

LISTA DE ACRÓNIMOS

BGRI (*Base Geográfica de Referenciação de Informação*)

CMMG (*Câmara Municipal da Marinha Grande*)

DGA (*Direção Geral do Ambiente*)

DPM (*Domínio Público Marítimo*)

ENGIZC (*Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira*)

IH (*Instituto Hidrográfico*)

INAG (*Instituto Nacional da Água*)

INE (*Instituto Nacional de Estatística*)

IPMA (*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*)

PNPO (*Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território*)

POOC (*Plano de Ordenamento da Orla Costeira*)

POVT (*Programa Operacional de Valorização do Território*)

SIG (*Sistemas de Informação Geográfica*)

UNDRO (*United Nations Disaster Relief Co-ordinator*)

UNESCO (*Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura*)

WPWLI (*Working Party on World Landslide Inventory*)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

É no litoral que hoje se concentra grande parte das atividades humanas e onde se registam as maiores densidades populacionais. Os concelhos do litoral (32% do território nacional) concentram mais de metade (53%) da população (DGA, 2000). A atração ao litoral e as pressões sobre a orla costeira aumentaram quando o turismo se afirmou como atividade económica em crescimento (Lema e Rebelo, 1996; Pinho *et al*, 2008). O aumento levou à procura e intensificação de diferentes usos e ocupações do território, promovendo uma ocupação desordenada e por vezes ilegal, quer pela ocupação de faixas de risco sobre as arribas, quer pela ocupação de terrenos no domínio público marítimo (DPM) (Pinho, 2003).

Face às consequências derivadas dos movimentos de vertente em litorais de arriba, esta temática tem vindo assumir maior importância e sensibilidade, por um lado, pela comunidade científica, ao desenvolver e aprofundar a sua investigação neste domínio; e por outro, pelas entidades responsáveis pela gestão costeira e entidades de socorro e emergência, interessadas no aperfeiçoamento de planos que englobem os riscos geomorfológicos. Esta temática tem especial interesse no ordenamento do território, nomeadamente na determinação de áreas suscetíveis e vulneráveis à ocorrência destes movimentos e pela determinação dos custos diretos/indiretos associados aos movimentos de vertente, no sentido de evitar futuras perdas humanas e prejuízos materiais.

As zonas costeiras assumem uma importância estratégica em termos ambientais, económicos, culturais e recreativos. Por isso, a ENGIZC (Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira) realça a necessidade de intensificar as medidas de salvaguarda dos riscos naturais na faixa costeira, designadamente por via de operações de monitorização e identificação de zonas de risco, aptas a fundamentar os planos de ação necessários a uma adequada proteção, prevenção e socorro. Desde logo, devido à grande suscetibilidade da zona costeira aos fenómenos de erosão, aos temporais e às situações meteorológicas extremas, por vezes com perdas de território e pesados prejuízos para os recursos naturais. Essa visão integrada das potencialidades e dos riscos que afetam a zona costeira é reforçada no Eixo Prioritário III do POVT (Programa Operacional de Valorização do Território), especificamente no que diz respeito ao “combate à erosão e defesa costeira”. Três dos primeiros quatro grandes problemas identificados no modelo territorial do PNPOT (Programa Nacional

da Política de Ordenamento do Território) relacionam-se com situações de risco. Isso significa que a gestão preventiva de riscos constitui uma prioridade de primeira linha da política de ordenamento do território, sendo considerada uma condicionante fundamental da organização das várias componentes do modelo e um objetivo do programa das políticas do PNPT e, ainda, um elemento obrigatório dos outros instrumentos de gestão territorial (Julião *et al*, 2009)).

Este trabalho desenvolve-se no litoral de arriba de S. Pedro de Moel, o qual tem vindo a sentir algum recuo da linha de costa nas últimas décadas, reflexo, certamente, do agravamento genérico da erosão costeira em todo o litoral. Bettencourt & Ângelo (1992) num trabalho que aborda esta questão, apontam, a título exemplificativo, um troço de 11 km em torno de S. Pedro de Moel onde houve estabilidade entre 1871 e 1900, passando a verificar-se recuo ao longo do século XX, com taxas médias de 0,6m/ano entre 1900 e 1958, as quais ampliaram para 1,0m/ano entre 1958 e 1985 (Dias *et al*, 1994). Em São Pedro de Moel, a suscetibilidade relacionada com os processos de geodinâmica externa apresenta graus elevados, nomeadamente os relacionados com a erosão costeira (Tavares *et al*, 2010). A erosão costeira traduz-se em São Pedro de Moel, pela evolução da arriba através de queda de blocos, e deslizamentos rotacionais e /ou translacionais, coincidentemente na zona onde a ocupação humana é maior (Dias *et al*, 1994), constituindo fonte de perigosidade ou risco apreciável, podendo causar acidentes com consequências graves para os utentes das praias e danificar ou destruir estruturas construídas.

A perigosidade a que se encontram sujeitos atualmente os bens construídos, nomeadamente as habitações mais próximas do bordo das arribas, a destruição frequente de algumas infra-estruturas de apoio às praias e a considerável vulnerabilidade que caracteriza estes elementos, levou a que fosse necessário implementar algumas medidas de mitigação para fazer face à intensa erosão costeira verificada nestas últimas décadas. Segundo Vieira e Vaz (2009), as arribas da praia de São Pedro de Moel têm vindo a exibir uma acelerada evolução do processo erosivo, manifestada através de instabilizações com recuos bastante acentuados das arribas e fissuras no pavimento da Av. Marginal, o que já obrigou à interdição ao tráfego. Os mesmos autores ainda salientam que a extensão Bairro dos Naturais – Av. Marginal é a que apresenta maior nível de risco. No entanto toda a extensão de arribas é dominada por forte erosão na base da arriba por ação marítima, gerando frequentemente blocos em consola por subescavação; queda de blocos, desmoronamentos e escorregamentos de material, ocorrentes nas zonas onde a

atitude das camadas litológicas e da arriba são concordantes, e onde a possança dos níveis margosos é mais acentuada (zonas onde a erosão diferencial se processa com maior intensidade); carsificação nas camadas calcárias, gerando cavidades no interior do maciço; subsidências e abatimentos frequentemente identificáveis na superfície, possuindo intensidade e dimensão importantes ao longo da crista da arriba. Consequentemente, foram executadas por parte da CMMG (Câmara Municipal da Marinha Grande) algumas medidas de prevenção, nomeadamente a colocação de blocos na base da arriba, a remoção de passadiços junto à crista e sinalização.

A presente dissertação, que seguidamente se apresenta, encontra-se estruturada em quatro capítulos. No primeiro caracteriza-se a área de estudo de São Pedro de Moel, atendendo ao seu enquadramento geográfico, geológico e geomorfológico, climático, à dinâmica costeira e à ocupação humana e uso do território. O segundo capítulo é dedicado à instabilidade de arribas, nomeadamente os processos que governam a sua evolução, os fatores de instabilidade e os tipos de movimento de vertente. Neste capítulo é ainda apresentado o conceito de risco, com uma breve síntese daquilo que são as suas componentes fundamentais: perigosidade, suscetibilidade, vulnerabilidade e elementos expostos. No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia empregue na análise do risco, assim como os dados e base utilizados no trabalho, nomeadamente no que respeita aos elementos expostos e o inventário de movimentos de vertente utilizado. No quarto capítulo analisam-se as componentes essenciais que permitem a estimativa do risco, isto é, a perigosidade, a vulnerabilidade e o valor económico dos elementos expostos. A perigosidade integra, com base na relação magnitude frequência, a probabilidade espaço-temporal e probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente com determinada magnitude. A vulnerabilidade é definida com base na magnitude dos movimentos de vertente e na consistência construtiva dos elementos expostos. A última secção deste capítulo é dedicada à análise quantitativa do risco, em termos de custos diretos, sendo ainda efetuado o cálculo dos danos potenciais, ou seja, o valor económico direto dos prejuízos potenciais.

Neste contexto, o objetivo primordial desta dissertação é a análise quantitativa do risco de instabilidade de arribas em São Pedro de Moel. Tentar-se-á responder às seguintes questões: Onde podem ocorrer os futuros movimentos de vertente nas arribas? Qual é a probabilidade? Que elementos estão expostos ao perigo? Qual é o seu valor? Qual é o dano potencial? Qual é o risco?

Para a concretização deste propósito, é necessário responder a objetivos mais específicos, particularmente:

- Construção do mapa da probabilidade espaço-temporal;
- Avaliação da probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente de acordo com a sua magnitude;
- Levantamento das características estruturais dos elementos expostos, e posterior avaliação da consistência construtiva;
- Análise da vulnerabilidade;
- Atribuição de valor económico aos elementos expostos;
- Avaliação dos danos potenciais;
- Estimativa do risco com base em custos diretos.

Pretende-se que este trabalho seja um contributo para futuras ocupações do território mais racionais, uma vez que a avaliação do risco permite reconhecer as áreas onde se espera que ocorram as perdas mais importantes e onde os esforços de mitigação devem estar concentrados para salvaguarda da população e dos bens. Apesar de constituir um trabalho científico, e com todas as incertezas inerentes, espera-se que este trabalho possa contribuir para esclarecer e aumentar a segurança das pessoas que vivem em São Pedro de Moel, assim como dos turistas e utentes da praia.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - ENQUADRAMENTO GERAL E LOCALIZAÇÃO

O troço costeiro em estudo localiza-se no litoral Oeste de Portugal, na fronteira mais ocidental do continente Europeu (Figura 2.1). São Pedro de Moel é um lugar pertencente à freguesia e concelho da Marinha Grande, Distrito de Leiria. Localizado na Estremadura Portuguesa, corresponde segundo a NUT III, à sub-região do Pinhal Litoral, é abrangido pela área de jurisdição da ARH do Tejo, e é abrangido pelo POOC (Plano de Ordenamento da Orla Costeira) Ovar – Marinha Grande. O núcleo urbano de São Pedro de Moel está localizado em afloramentos carbonatados jurássicos que formam saliência natural condicionante da orientação da costa que se desenvolve para Norte (Ribeiro e Gamito, 2011). Para Norte a costa é praticamente rectilínea, quase sempre baixa e arenosa, em São Pedro de Moel é alta e rochosa numa extensão de cerca de 1km de arriba. A orientação da costa é grosseiramente NNE-SSW em São Pedro de Moel, estando de uma forma geral maioritariamente exposta a WNW.

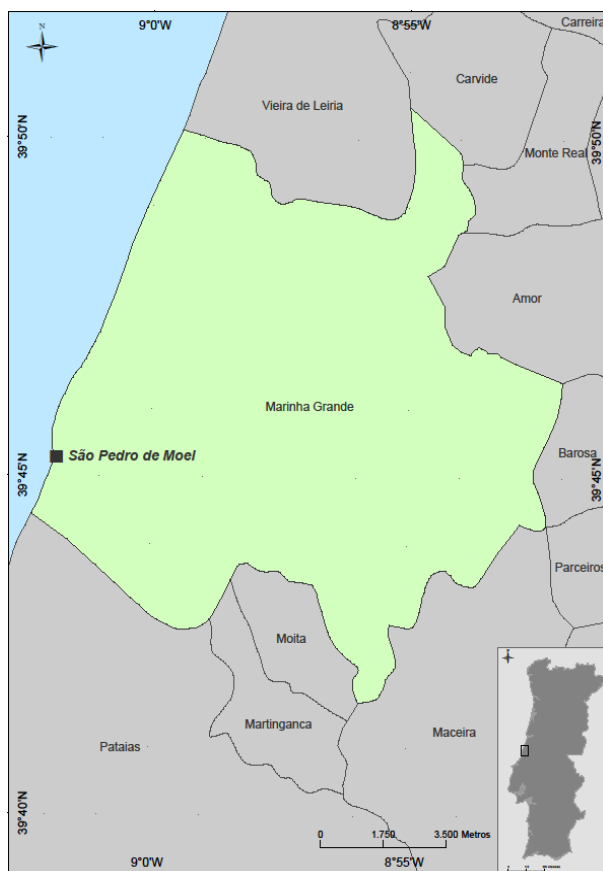


Figura 2.1 Enquadramento regional da localidade de São Pedro de Moel

2.2 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA

São Pedro de Moel está inserido na unidade Morfoestrutural da Orla Mesocenozoica Ocidental. Devido aos esforços tectónicos distensivos da abertura do Atlântico Norte, formaram-se as rochas que constituem esta unidade, num longo e estreito *graben* que se estendia na direção de NNE-SSW (Ramalho *et al*, 1993). Com a fragmentação da Pangeia, mais especificamente com a abertura do Atlântico Norte, formou-se o fosso tectónico, designado por Bacia Lusitana, que ocupa mais de 20 000km², em que cerca de 2/3 aflora na área continental emersa e a restante área encontra-se imersa, na plataforma continental (Kullberg *et al*, 2006). A bacia Lusitana é uma bacia sedimentar, onde parte dos sedimentos que o constituem provieram do Maciço Antigo, situado a Leste, e de uma área continental a Oeste, da qual o arquipélago das Berlengas é a única testemunha (Ribeiro, 1987 *in* Neves, 2004). A bacia desenvolveu-se ao longo de parte da margem ocidental Ibérica, em regime distensivo, com direção predominante E-W (Kullberg e Machado, 2005; Kullberg *et al*, 2006). A evolução da bacia faz-se ao longo de 135 M.a, com ocorrência de 4 episódios de *rifting* (Kullberg *et al*, 2006). Segundo Pereira (1991), a bacia lusitana foi parcialmente colmatada por sedimentos que chegam a atingir 5km de espessura, desde o Triásico superior até ao Turoniano. O preenchimento da Bacia Lusitaniana prolongou-se durante o Cenozóico, embora com muito menor expressão por comparação com a Era anterior. Durante a evolução da Bacia sucederam-se vários episódios de subsidência e de levantamento, originando alternância de períodos de regressão e de transgressão marinhas. A margem Portuguesa, do Cretácico final em diante, evoluiu especialmente em compressão, apesar de alguns episódios distensivos. O acidente da Nazaré (desligamento Seia-Lousã-Nazaré) funciona como fronteira entre dois domínios geoestruturais diferentes: a Norte gerou-se um regime compressivo devido à colisão da miniplaca Ibérica com a Europeia, com subducção no Golfo da Gasconha, do que resultou o início do levantamento das serras do Norte da Península e das montanhas submersas da Galiza (Boillot *et al*, 1979 *in* Pereira, 1991); a Sul predominaram fenómenos de distensão e processos geodinâmicos de grande importância, nomeadamente evidências de magmatismo, como o Complexo de Diques Radiais de Mafra (rochas básicas), Maciço Eruptivo de Sintra (granitos, sienitos e gabros, com um conjunto filoniano periférico), e o Complexo Vulcânico de Lisboa (basaltos em escoadas, com intercalações de camadas de piroclastos) (Kullberg e Machado, 2005), e ainda o início da subsidência que individualizou a bacia cenozoica do Tejo-Sado, pelo jogo das falhas do baixo Tejo e da Messejana (Galopim de Carvalho *et al*, 1881-82 *in* Pereira, 1991).

Em São Pedro de Moel, as formações constituintes das arribas da praia são datadas do Jurássico inferior (Toarciano), englobando as formações de Coimbra, às quais se sobrepõe uma cobertura arenosa do Plio-Plistocénico. As areias plio-pleistocénicas ocorrem nas cotas superiores das arribas, cobrindo em praticamente toda a sua extensão as litologias do Jurássico. As litologias do Jurássico dispõem-se segundo um complexo com alternância rítmica de calcários margosos de cor cinzenta acastanhada e de margas de cor acastanhada (Figura 2.2). É de referir nesta formação a existência de zonas onde o maciço se apresenta bastante alterado e frequentemente afetado por falhas de orientação NW-SE, com uma estrutura que tende a mergulhar para ocidente (Figura 2.3).



Figura 1.2 Litologia em São Pedro de Moel. Adaptado de Carta Geológica de Portugal - 22d

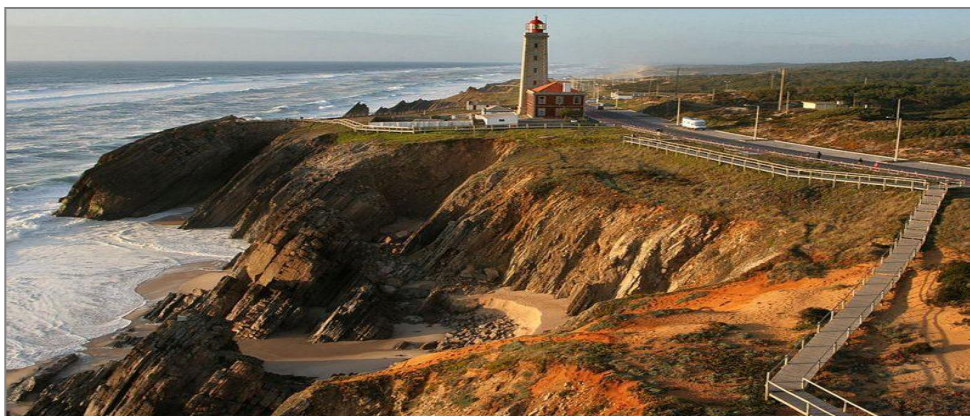


Figura 2.3 Setor de arriba em São Pedro de Moel (Vista para norte)

2.3 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Para avaliar as características climáticas da área de estudo foram considerados os dados das normais climatológicas de 1951-1980 da estação de São Pedro de Moel (39°45'N/9°02'W). Serão aqui apresentados os dois parâmetros com maior influência direta nos processos inerentes à evolução dos litorais de arriba: a precipitação e a temperatura. A situação geográfica do território em estudo inclui-se na zona temperada do hemisfério norte, que corresponde à zona das depressões subpolares, contudo é sensível a influência da zona dos anticlones subtropicais, com as suas características de céu limpo, ar seco e precipitação escassa (Ferreira, 1950).

As temperaturas registadas no período 1951-1980 na Estação Climatológica de São Pedro de Moel, apresentam valores médios mensais que variam ao longo do ano, sendo os meses entre Dezembro e Fevereiro os mais frios, e os meses de Julho e Agosto os mais quentes (Figura 2.4).

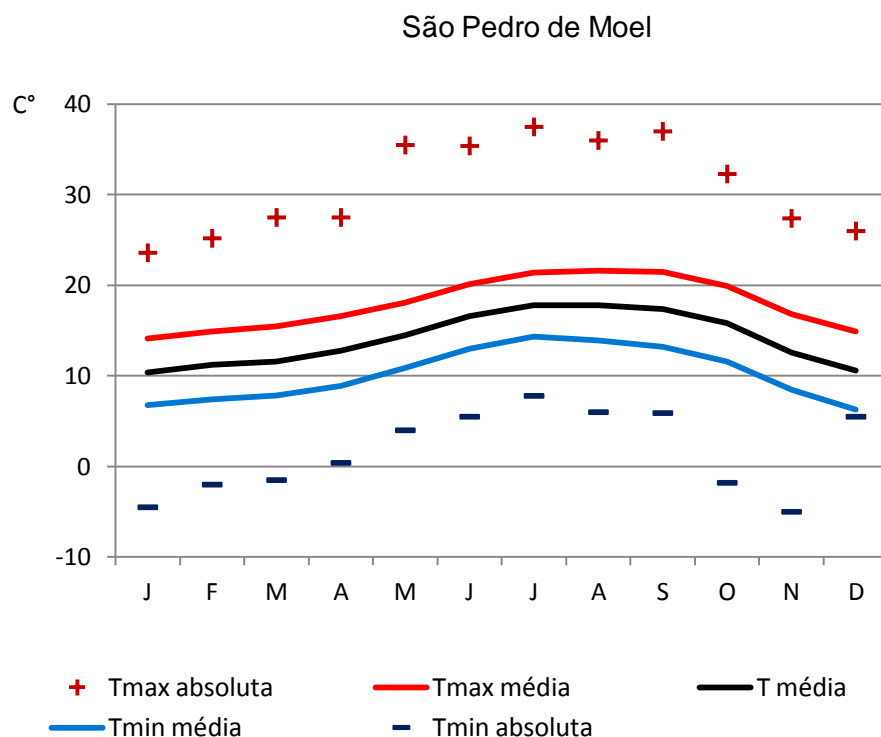


Figura 2.4 Temperaturas no período de 1951-1980 na estação climatológica de São Pedro de Moel. *Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980, Serviço de Meteorologia Nacional, 1991.*

Temperatura (C°)	São Pedro de Moel
Média anual máxima	18,0
Média anual	14,1
Média anual mínima	10,2
Amplitude térmica anual	7,8

Quadro 2.1 Temperatura média anual máxima, média anual mínima, média anual e amplitude térmica anual no período 1951-80 na estação climatológica de São Pedro de Moel. *Fonte: Normais Climatológicas de 1951-80, Serviço de Meteorologia Nacional, 1991.*

Em termos gerais, entre 1951 e 1980 a temperatura média anual foi de 14,1°C, a temperatura média anual máxima não ultrapassou os 18,0°C, e a temperatura média anual mínima rondou os 10,2°C. A influência marítima, decorrente da proximidade ao

litoral, reflete-se na amplitude térmica anual, que apresenta valores bastante reduzidos de 7,8°C (Quadro 2.1).

O facto de a Estremadura apresentar um alinhamento quase contínuo de relevos paralelos ao litoral, entre a Serra de Sintra e a Serra de Candeeiros, introduz contrastes pluviométricos muito fortes na escala local. O litoral oeste e as vertentes a barlavento das serras são muito mais chuvosos que as vertentes a sotavento e que o próprio Ribatejo (Fragoso, 1994 *in* Ferreira, 2005). A normal climatológica revela que os meses mais secos, com valores inferiores a 20mm, estendem-se de Julho a Agosto, em contrapartida a época chuvosa ocorre de Outubro a Fevereiro (Figura 2.5). A precipitação média anual foi de 710,2 mm., com um valor máximo mensal de 113,2 mm de precipitação no mês de Janeiro e mínimo de 7,1mm em Agosto.

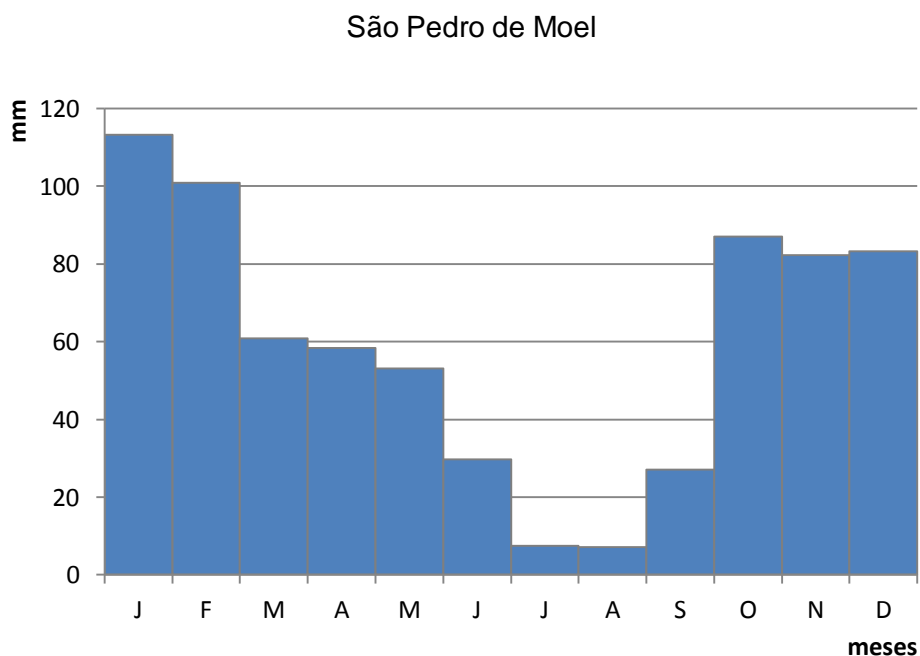


Figura 2.5 Precipitação mensal média no período 1951-80 na estação climatológica de São Pedro de Moel. *Fonte: Normais Climatológicas de 1951-80, Serviço Nacional Meteorológico, 1991.*

2.4 - DINÂMICA COSTEIRA

É fundamental compreender o comportamento da dinâmica marítima na aproximação à faixa costeira, pois esta é crucial na evolução das costas rochosas.

A dinâmica marinha atual na costa portuguesa é essencialmente condicionada pela circulação atmosférica a oeste, no Atlântico, o que lhe confere um regime de agitação de alta energia. A aquisição de dados de agitação marítima com boias ondógrafo tem sido uma atividade constante do Instituto Hidrográfico (IH) nos últimos anos. Contudo, apenas existem no litoral da costa Oeste portuguesa duas boias ondógrafos, em Leixões e Sines, que distam entre si aproximadamente 150km, e cerca de 200km cada uma de São Pedro de Moel. O litoral português é particularmente influenciado pelas tempestades que ocorrem no Atlântico Norte e que originam uma ondulação predominante de NW, provocada pelo anticiclone próximo dos Açores durante a maior parte do ano (Cunha e Dinis, 1998; Ferreira, 2005). A menos frequente ondulação de W e SW está associada a focos depressionários e à passagem das superfícies frontais associadas. Antigos trabalhos revelam a mesma direção predominante, como Lautensach (1966) e Carvalho e Barceló (1966) ambos citados por Daveau (1987). Lautensach (1966) concluiu que 67% da ondulação era de NW, após medições no Cabo Carvoeiro durante o ano de 1928. Carvalho e Barceló (1966) apontam igualmente o rumo NW, como predominante na costa portuguesa, após analisados os dados de um ondógrafo ao largo da Figueira da Foz

A informação disponibilizada *on-line* pelo Instituto Hidrográfico permite a observação dos dados da agitação marítima desde 2009 até ao presente. No que respeita à direção da ondulação (direção de propagação das ondas mais energéticas usualmente medida a partir do Norte, no sentido dos ponteiros do relógio), os dados adquiridos em ambas as boias são bastante similares (Figura 2.6), sendo que quer a boia ondógrafo de Leixões quer a de Sines, apresentam uma direção predominante de NW.

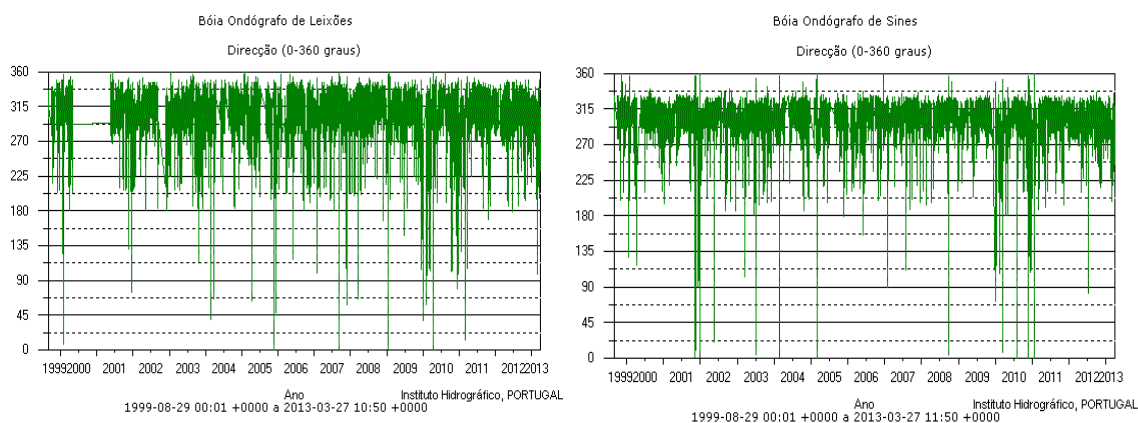


Figura 2.6 Direção da ondulação. Aquisição de dados pelas boias ondógrafo de Leixões e Sines desde 2009. *Fonte: Instituto Hidrográfico, Portugal.*

Relativamente à altura significativa da onda, em ambas as boias varia entre 2m e 3m, no entanto na boia ondógrafo de Leixões a altura significativa muitas vezes ultrapassa os 3m (Figura 2.7). A altura máxima da onda é bastante variável ao longo do ano e da série, podendo atingir frequentemente mais de 8m.

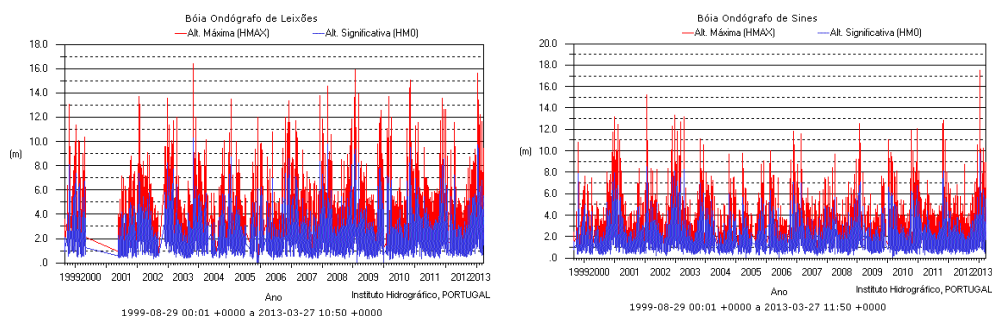


Figura 2.7 Altura significativa e máxima da onda. Aquisição de dados pelas boias ondógrafo de leixões e Sines desde 2009. *Fonte: Instituto Hidrográfico, Portugal.*

2.5 - OCUPAÇÃO HUMANA/ USO DO TERRITÓRIO

A atratividade intrínseca do litoral e consequente aumento da procura para diferentes usos e ocupações intensificou-se com especial expressão na segunda metade do século XX. Em Portugal foi feita quase sempre através da transformação e densificação de núcleos piscatórios em comunidades essencialmente turísticas (Santos, 2006).

Um aspeto importante a ser tido em conta quando se fala sobre a ocupação do litoral é, sem dúvida, o papel desempenhado pela boa acessibilidade. Se, por um lado, facilitou a fixação de população ao longo das redes (rodovias e ferrovias), por outro a sua existência também serviu como um incentivo para o crescimento de aglomerações junto ao mar. Segundo Ribeiro (2009) o Plano Regional de Ordenamento do Território (PROT) do Oeste e Vale do Tejo refere a existência de um Eixo Urbano do Oeste, que evidencia intensos processos de urbanização suscitados pela boa acessibilidade a Lisboa e a Leiria. O eixo de conectividade com a AML afirma-se como uma extensão da região Pinhal Litoral/Oeste, fruto do reforço das acessibilidades a Sul, com uma forte articulação com Lisboa. De facto, o reforço das acessibilidades contribuiu para

uma maior articulação do Pinhal Litoral/ Oeste com Lisboa, afirmando-se este território (em particular o Oeste) como uma extensão da coroa periférica da AML, com uma

crescente procura da segunda residência. A rodovia A8, que converge em Lisboa, é determinante no desenho do sistema urbano do Oeste e nas articulações entre as unidades territoriais atrás descritas.

Relativamente à população, em termos gerais no último século verificou-se um aumento do número de residentes (Quadro 2.2). Todavia, este aumento foi acompanhado por algumas flutuações que poderão estar relacionadas com a difusão das casas de férias, sendo que os habitantes sazonais das mesmas não se consideram população residente. Mais recentemente, os censos de 2011 revelam que residem nesta localidade 389 habitantes. No entanto, na época balnear chegam a permanecer cerca de 15.000 pessoas em São Pedro de Moel (incluindo residências secundárias, campistas, hóspedes de hotéis ou pensões e pessoas que se deslocam diariamente das suas residências para as praias) (Santos, 1996).

Anos							
1911 ¹	1940 ¹	1960 ¹	1970 ²	1981 ²	1991 ²	2001 ²	2011 ²
76	131	177	302	430	267	436	389

Quadro 2.2 População residente entre 1911 e 2011. *Fonte:* ¹Santos, 1996 ²Censos - INE

Também a malha urbana tem registado um aumento significativo (Quadro 2.3). No entanto verifica-se que em 1970 existe um acréscimo do número de fogos comparativamente ao ano anterior e posterior, o que poderá estar relacionado com o facto de ter sido o primeiro recenseamento da habitação, ao qual estarão inerentes alguns desfasamentos, e por serem dados provisórios. Os últimos censos de 2011 indicam que existem 853 fogos/alojamentos em São Pedro de Moel. Este aumento, entre 1911 e 2011, deve-se sobretudo à difusão do fenómeno das residências secundárias.

Anos							
1911 ¹	1940 ¹	1960 ¹	1970 ²	1981 ²	1991 ²	2001 ²	2011 ²
16	139	269	535	520	666	834	853

Quadro 2.3 Número de fogos/alojamentos entre 1911 e 2011. *Fonte: ¹Santos, 1996 ²Censos - INE*

Esta atração pelo litoral, levou à procura da 2ª habitação junto ao mar, com construção desregrada do edificado e em áreas de risco costeiro (Pinho *et al*, 2008). Devido à falta de legislação na época (séc.XX), incrementou uma ocupação anárquica, desordenada e ilegal do território. Adicionalmente, a afluência de turistas coloca variadíssimas questões de carácter ambiental e do ponto de vista da segurança das pessoas, sendo uma zona ecologicamente frágil dada a sua instabilidade e mobilidade em consequência da sua localização no contacto entre terra e mar.

CAPÍTULO 3

INSTABILIDADE DE ARRIBAS E RISCO ASSOCIADO

CAPÍTULO 3 – INSTABILIDADE DE ARRIBAS E RISCO ASSOCIADO

3.1 - ASPETOS GERAIS DA EVOLUÇÃO DAS ARRIBAS

Uma arribas (*Cliff*) não é mais do que um talude natural com forte declive, que sofre erosão, por vezes intensa no sopé por ação direta da ondulação, e por processos subaéreos (Neves, 2004). As arribas, apesar de em alguns casos apresentarem configuração aparentemente imutável à escala de observação de alguns anos, sofrem evolução contínua das faces expostas aos agentes de erosão marinha (Bird, 2000). Assim, a instabilidade dos sistemas litorais de arriba resulta da atuação de diversos processos, que dependem de inúmeros fatores de natureza geológica, morfológica, climática e hidrológica. Em grande parte das litologias e dos contextos climáticos, o aumento do declive proporcionado pela erosão basal propicia a ocorrência de movimentos de massa de vertente (Marques, 1997), onde o centro de gravidade do material afetado progride para jusante e para o exterior da arriba. Segundo Teixeira (2009) os movimentos de massa em arribas subverticais são normalmente instantâneos e dificilmente previsíveis, podendo envolver a mobilização de milhares de m³ de material, podendo provocar danos irreversíveis quer para as ocupações no topo das arribas, quer para os utentes das eventuais praias suportadas pelas arribas. São assim, geradores de situações de risco podendo interferir significativamente com a ocupação humana no litoral, pondo em causa a segurança de pessoas e bens (Marques, 1997).

O processo erosivo é fundamentalmente traduzido numa sequência descontínua de movimentos de massa em vertentes, tendencialmente concentrada durante episódios de pico da atividade dos agentes mesológicos (Sunamura, 1992). A erosão marinha é a principal responsável pelo retrocesso dos litorais rochosos e empreendedora da evolução destes sistemas costeiros. As ondas são o agente erosivo mais importante ao longo da maioria das costas, mas os seus efeitos e eficácia variam de acordo com as suas características, a morfologia costeira e as características das rochas (Trenhaile e Kanyaya, 2007). No entanto, alguns autores consideram que as diferenças locais das taxas de recuo das arribas são controladas principalmente pelas propriedades do substrato e não por variações de agitação marítima (Lange e Moon, 2005). A forte erosão marinha está relacionada com a ocorrência de temporais, em particular durante o Inverno, através do sapamento da base da arriba, pela ondulação incidente (aumento da pressão provocada pelo choque e consequente descompressão resultante da sucção provocada pelas correntes de refluxo) e alguma metralhagem na

face da arriba (Bird, 2000; Oliveira, 2005). Os fatores que regem a erosão basal são a força das ondas na base da arriba, e a resistência do material que a forma, sendo que

a intensidade relativa dos dois determina se a erosão ocorre ou não (Sunamura, 1992). A ação mecânica das ondas exerce sobre a face da arriba uma força abrasiva através do impacto da matéria sólida mobilizada. A abrasão ou corrosão é a erosão de uma superfície de rocha causada pelo desgaste, moagem ou raspagem de partículas de sedimentos. Quando os fragmentos de rocha são arremessados contra a arriba, tensões de impacto são criadas na superfície da rocha, aumentando a tensão à medida que a velocidade das partículas impactantes aumenta (Sunamura, 1992).

A precipitação também provoca a ocorrência de deslizamentos desencadeados pela diminuição da resistência ao corte do maciço e aumento das tensões tangenciais. Favorece uma acentuada erosão através do escoamento superficial, que de forma canalizada origina sulcos e ravinamentos, ou através de escoamento difuso ou em “toalha”, originando uma erosão pelicular mais generalizada, sobretudo na face da arriba (Oliveira, 2005).

Também a temperatura tem influência na desagregação através da contração e expansão provocadas pelas variações de temperatura, facilitada pela existência de fendas, interstícios e poros. Em climas com fortes amplitudes térmicas a termoclastia provoca frequentes quedas de blocos. Também a variação de temperatura entre o dia e a noite implica que os distintos coeficientes de dilatação dos minerais que formam as rochas se traduzam em tensões que tendem a aumentar as fissuras e diaclases existentes. Outros processos de recessão das arribas, que se desenvolvem a uma escala dimensional mais pequena, microscópica ou cristalina, como os processos de desagregação granular, corrosão química ou biológica, podem ter importância na recessão das arribas, em particular nas regiões tropicais (Trenhaile, 1987; Sunamura, 1992), mas dada a dimensão dos seus elementos fundamentais não são relevantes na génese do risco.

3.2 - FATORES DA INSTABILIDADE

Geralmente as causas dos movimentos de vertente são múltiplas e verificam-se em simultâneo (Zêzere, 2005). Segundo Glade e Crozier (2005) os fatores das instabilidades podem ser divididos em 3 grupos: os de predisposição, os preparativos e os desencadeantes. Os fatores de predisposição, estáticos e inerentes ao território,

condicionam o grau de instabilidade potencial da vertente e determinam a variação espacial do grau de suscetibilidade do território à instabilidade (Zêzere, 2005). Os fatores preparatórios são dinâmicos e fomentam o decréscimo da margem de estabilidade sem iniciar o movimento, enquanto os fatores desencadeantes representam a causa imediata da instabilidade e determinam o ritmo temporal dos movimentos (Zêzere, 2005). Popescu (1994) sistematizou as causas e definiu que as características do terreno funcionam como fatores de predisposição, enquanto os processos geomorfológicos, os processos físicos e os processos antrópicos funcionam como mecanismos preparatórios ou desencadeantes das instabilidades, dependendo da sua intensidade e duração, e da estabilidade prévia da vertente (Figura 3.1).

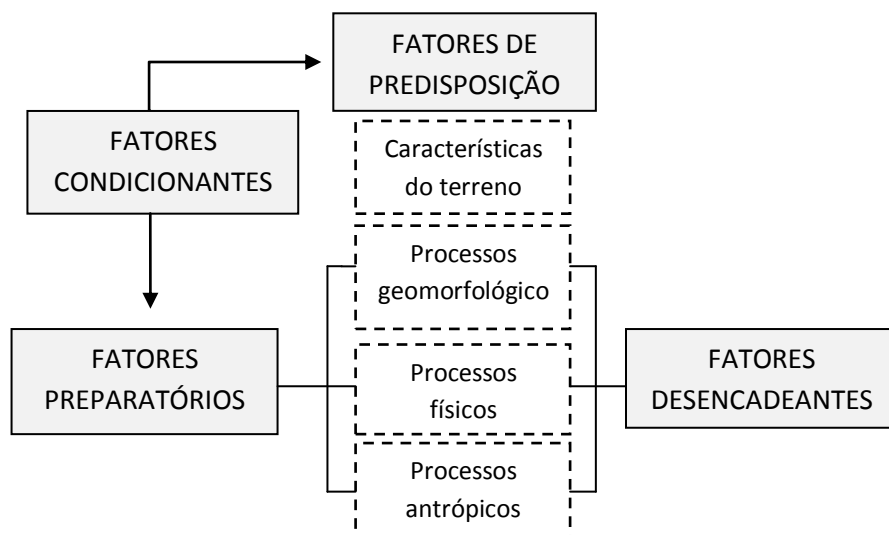


Figura 3.1 Fatores dos movimentos de vertente (adaptado de Popescu, 1994 in Zêzere, 2005)

3.3 TIPOS DE MOVIMENTOS

A designação de movimento de vertente ou *landslide*, corresponde ao “movimento de descida, numa vertente, de uma massa de rocha ou solo, onde o centro de gravidade do material afetado progride para jusante e para o exterior” (Varnes, 1978, Cruden, 1991). A classificação dos tipos de movimento de vertente é aqui apresentada de acordo com a classificação adotada para ambientes costeiros por Sunamura (1992), também adotada pela UNESCO – Working Party on World Landslide Inventory (WPWLI - UNESCO, 1993) (Figura 3.2).

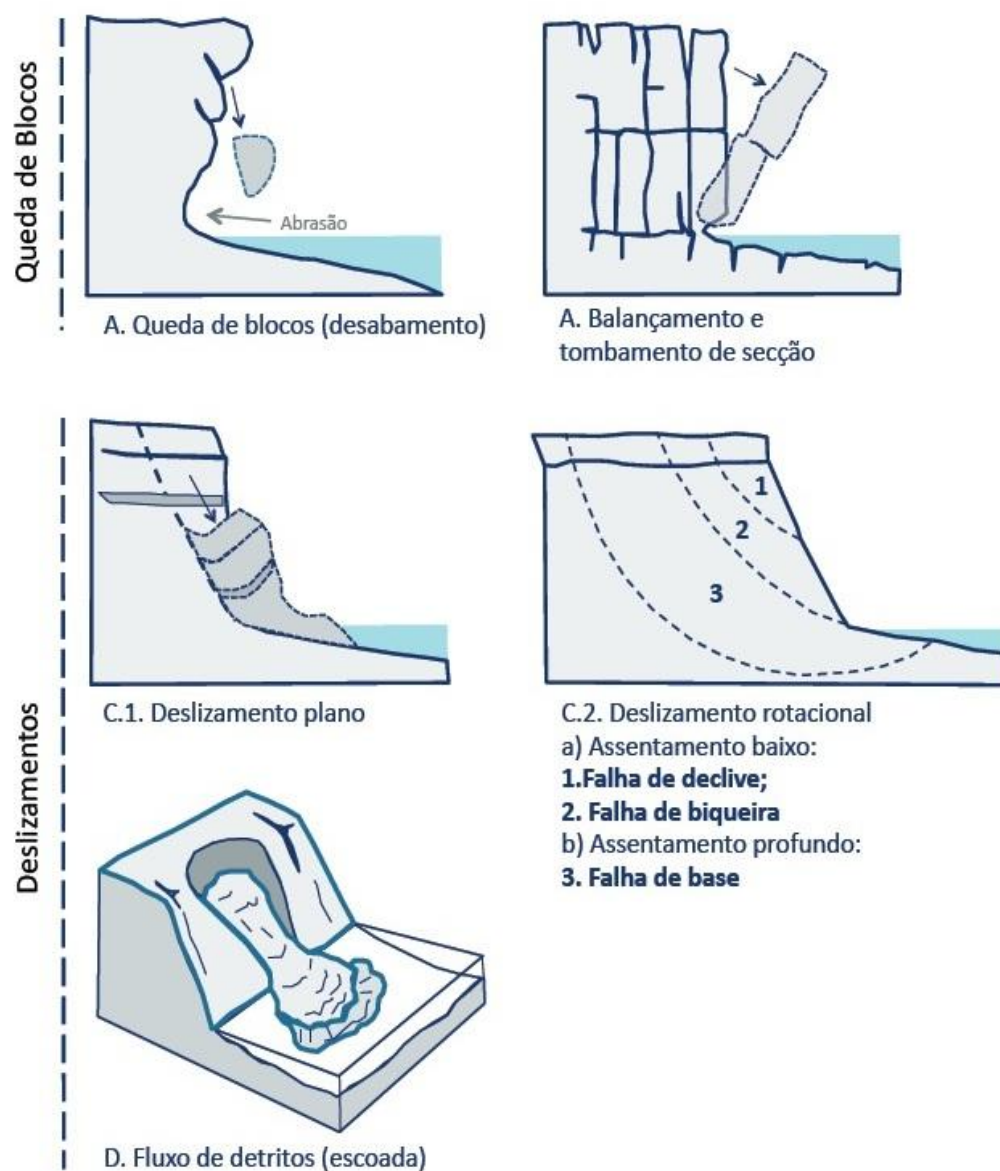


Figura 3.2 Tipos de movimentos de massa (adaptado de T. Sunamura, 1992 in Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) - Riscos Costeiros, 2010)

Os movimentos de massa em costas rochosas dividem-se em 4 tipos: desabamentos/queda de blocos (“falls”), balançamentos/tombamentos (“topples”), deslizamentos (“slides”) e escoadas/fluxos (“flows”). Estes tipos de movimentos dependem principalmente dos fatores estruturais e litológicos do material que forma a rocha, tais como a estrutura geológica, características estratigráficas e propriedades geotécnicas ou resistência da rocha.

Queda de blocos (*“fall”*) corresponde a movimento de massa que viaja através do ar como um corpo em queda livre (Sunamura, 1992), ou deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos (WPWLI – UNESCO, 1993). Podem ser subdivididos em desabamento rochoso, desabamento de detritos, desabamento de terra, de acordo com o tipo de material na arriba antes do movimento. Trata-se de um movimento de massa brusco, caracterizado pela elevada velocidade que pode atingir, em relação à queda livre que ocorre pelo menos em parte da deslocação. A separação do material suscetível de movimentação ocorre, em geral, em planos de fraqueza estrutural (planos de estratificação, diáclases, falhas, etc). São induzidos muitas vezes, por escavamento natural ou artificial da base da vertente e/ou alteração do declive pela erosão marinha.

Balançamento/tombamento (*“topple”*) consiste num movimento de queda-livre com a rotação de um bloco em torno de um eixo fixo durante o movimento (Sunamura, 1992), ou rotação de uma massa de solo ou rocha, a partir de um ponto ou eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa afetada (WPWLI – UNESCO, 1993). O movimento ocorre por influência da gravidade e pela ação de forças laterais, exercidas quer por unidades adjacentes, quer por fluidos presentes em diáclases e fracturas.

Deslizamento (*“slide”*) é o cisalhamento sobre uma superfície de deslizamento distinto, e a massa de deslizamento apresenta um movimento em bloco (Sunamura, 1992); movimento de solo ou rocha que ocorrem predominantemente ao longo de planos de rutura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial (WPWLI – UNESCO, 1993). Os deslizamentos podem ser subdivididos em deslizamento planar e deslizamento rotacional. O primeiro tem uma superfície de deslizamento quase linear, ao passo que o último é de plano circular (Sunamura, 1992). Segundo Varnes (1978) trata-se de um movimento mais ou menos rotacional, sobre um eixo paralelo aos contornos da vertente, envolvendo deslocamento (*“sliding”*) por cisalhamento ao longo da superfície de rutura, a qual é visível ou inferida. Os deslizamentos são em geral bastante comuns na maioria das arribas costeiras (Sunamura, 1992).

Escoadas (*“flow”*) é um movimento com velocidade crescente em direção à parte superior de um corpo em movimento, as escoadas ocorrem em algumas costas compostas por materiais argilosos pouco resistentes originando fluxos de lama (*“mudflows”*), contribuindo significativamente para a recessão de arribas compostas por argilas e margas (Sunamura, 1992); movimento espacialmente contínuo onde as

superfícies de tensão tangencial são efémeras e frequentemente mal preservadas. As tensões verificam-se em toda a massa afetada e a distribuição das velocidades no material instabilizado assemelha-se à de um fluido viscoso (WPWLI – UNESCO, 1993).

Os movimentos de massa atuam sempre para formar a face da arriba num perfil com uma inclinação mais estável. A ondulação escava a base da arriba, de modo a que o perfil global da arriba se torne íngreme e instável, simultaneamente os detritos são fornecidos à base da arriba, sendo mais tarde removidos pelas ondas (Sunamura, 1992).

3.4 - RISCO: DEFINIÇÕES E ABORDAGENS

Existe uma multiplicidade de definições bem como uma diversidade de metodologias e variáveis aplicadas para a avaliação do risco. Em redor deste assunto verificam-se dificuldades de consolidação e estabilização de uma terminologia de base e de questões conceptuais fundamentais (Garcia e Zêzere, 2003).

A definição oficial dos termos utilizados na avaliação de riscos foi estabelecida numa convenção internacional organizada pela *United Nations Disaster Relief Co-ordinator* (UNDRO, 1979). Adotado por Varnes em 1984, ainda é hoje considerado como o modelo mais aceite pelos investigadores para análise dos riscos. O conceito de risco exprime a possibilidade de ocorrência, e a respetiva quantificação em termos de custos, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas, em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela atividade antrópica (Varnes, 1984). Nele se conjugam três parâmetros fundamentais, elementos expostos, perigosidade e vulnerabilidade, que resultam numa avaliação criteriosa e integral da situação de risco de um determinado elemento ou conjunto de elementos face a um determinado processo com potencial destrutivo (Figura 3.3).

A equação do Risco é a seguinte:

$$R = E \times P \times V$$

Onde:

R = Risco;

E = Elementos expostos a um determinado processo destrutivo, frequentemente quantificados pelo respetivo Valor;

P = Perigosidade ou probabilidade de ocorrência do processo destrutivo num dado espaço e durante um período temporal definido;

V = Vulnerabilidade ou grau de perda do elemento exposto em consequência da ocorrência do processo em consideração.

O risco geomorfológico existe sempre que as populações, bens ou atividades possam ser prejudicados, destruídos ou interrompidos pelo desenvolvimento de um fenómeno de instabilidade geomorfológica (Aste, 1991). Deste modo, a avaliação dos graus de risco implica a estimativa do nível provável dos estragos, para cada elemento em risco existente no território em questão.

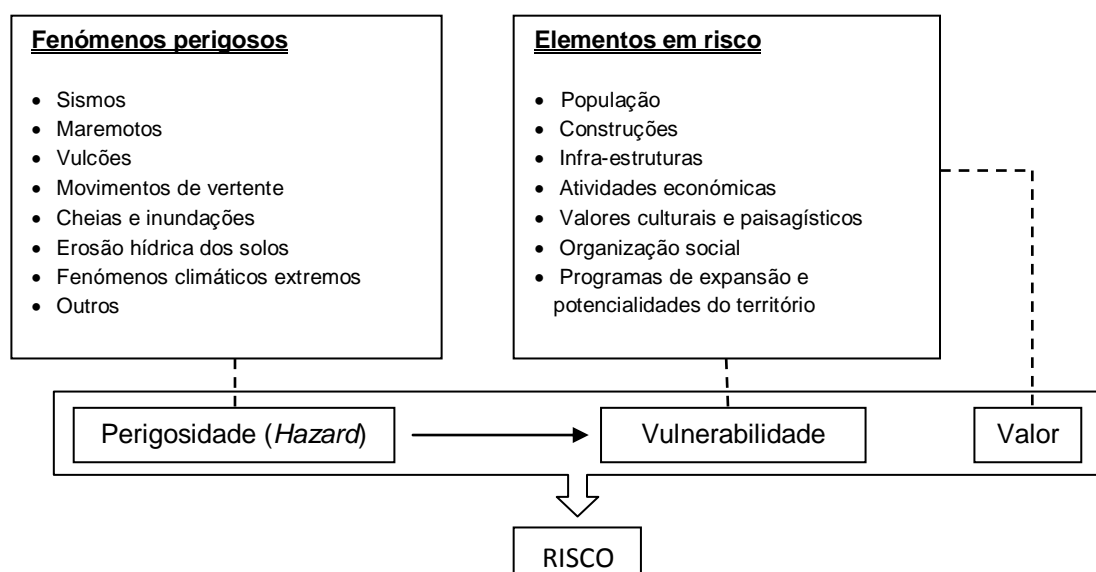


Figura 3.3 Modelo conceitual do Risco (Adaptado de Panizza, 1990 e Zêzere, 2005)

A abordagem completa do risco engloba três fases: Análise, Avaliação e Gestão (Bell e Glade, 2004). A análise de risco é um método para calcular e exibir o risco num dado contexto ambiental, usando métodos baseados em engenharia e ciências naturais (Glade, 2002). Por outras palavras, a análise do risco corresponde à etapa que, com base na informação disponível, se estima o risco a que os diversos elementos estão expostos. Em geral, a análise de risco procura caracterizar a perigosidade dos fenómenos (tipo, probabilidade espacial, temporal e magnitude), identificar as suas consequências nos elementos expostos (devidamente identificados, qualificados e quantificados), num determinado cenário, e posteriormente estimar o risco (Garcia e Zêzere, 2003; Garcia, 2012). A avaliação do risco é aplicada para identificar a perceção de risco e aceitação dos elementos envolvidos. A gestão de risco combina os resultados de análise de risco e avaliação de riscos para encontrar a "melhor" solução (Bell e Glade, 2004).

3.4.1 - PERIGOSIDADE

O conceito de perigosidade reporta, independentemente da origem do fenómeno, para a probabilidade do perigo, sendo este conceito muitas vezes utilizado em sinónimo com o conceito de risco. Designa-se de perigosidade como o equivalente de *hazard* (terminologia anglo-saxónica) ou de *aléas* (terminologia francesa). Segundo as Nações Unidas a definição de perigosidade, datada de 1979, trata este conceito apenas na sua vertente natural, descrevendo-o como “a probabilidade de ocorrência de um perigo natural específico, com um nível de gravidade específica e num determinado período de tempo futuro” ou “processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto suscetível de produzir perdas e danos identificados” (Julião *et al.* 2009).

3.4.2 – SUSCETIBILIDADE

A suscetibilidade traduz a incidência espacial do perigo, o conceito aponta para o facto de uma dada área ser suscetível (ou exposta) a fenómenos perigosos. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência (Julião *et al.*, 2009). Por outras palavras, é a probabilidade

espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência (Garcia e Zêzere, 2003).

3.4.3 - VULNERABILIDADE

O conceito de vulnerabilidade varia de autor para autor, podendo ser definido e compreendido de várias maneiras. Segundo Varnes (1984) entende-se por vulnerabilidade “o grau de perda (*“degree of loss”*) de um dado elemento ou conjunto de elementos resultante da ocorrência de um determinado fenómeno natural com uma certa magnitude ou intensidade, expresso numa escala entre 0 (sem danos) e 1 (perda total)” ou “na percentagem do valor da reconstrução no caso dos danos em bens” (Buckle *et al*, 2000). Segundo Alexander (2000) “a vulnerabilidade refere-se ao potencial de um elemento particular para sofrer danos (*“prone ness to be damaged”*), destruição, disfunção, ou outras formas de perda”. Para Guzzetti (2005) a vulnerabilidade é “uma medida dos danos possíveis ou esperados a um elemento em risco”. Isto significa que o grau de vulnerabilidade de um elemento material exposto à instabilidade de vertentes é o resultado de uma relação entre a magnitude expectável do movimento e a resistência que esse elemento (estrutural) apresenta face a tal ocorrência. Segundo Glade (2003), são muitos os problemas que condicionam o estudo da vulnerabilidade a movimentos de vertente, nomeadamente o facto da vulnerabilidade para diferentes elementos expostos variar para processos similares, a variabilidade de uma pessoa ou elemento móvel estar ou não presente no momento da ocorrência desses processos, e a distinção da capacidade de resistência e resiliência para diferentes grupos humanos. Desta forma, deve entender-se, à partida, que a incerteza é inerente a qualquer avaliação de vulnerabilidade, havendo sempre uma margem de erro para com a realidade que fica por conhecer (Glade *et al*, 2005).

3.4.4 - ELEMENTOS EXPOSTOS

Os elementos expostos, também designados por “elementos em risco” ou “elementos vulneráveis”, constituem, segundo UNDRO (1979) a população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades económicas, entre outros, expostos a um processo perigoso numa determinada área, e que são portadores de um determinado valor (Zêzere, 2007). As características intrínsecas dos elementos expostos, em

relação com outros fatores, determinam se estes são vulneráveis ou não a um determinado perigo, contribuindo desse modo para a ocorrência de estragos ou perda total (UNDRO, 1979).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA APLICADA NA ANÁLISE DO RISCO E BASE DE DADOS

CAPITULO 4 – METODOLOGIA APLICADA NA ANÁLISE DO RISCO E BASE DE DADOS

4.1 – METODOLOGIA DE ANÁLISE DO RISCO

A análise e avaliação do perigo, vulnerabilidade e risco costeiro envolve bastante complexidade e incerteza, pois há um grande número de fatores e variáveis naturais e humanos relacionados, que influenciam o comportamento do litoral (Del rio e Gracia, 2009). Vários autores como Richmond *et al* (2002), De Pippo *et al* (2008), Del Rio e Gracia (2009) têm concebido métodos para a classificação e mapeamento das zonas costeiras em função do perigo, vulnerabilidade e risco. No entanto, para além de abordagens à escala local, até à data não existem índices especificamente destinados a avaliar o risco de erosão costeira em costas rochosas (Del Rio e Gracia, 2009). Tradicionalmente, este tipo de risco tem sido estimado com base nas consequências, ou seja, na medição do recuo local (Preist, 1999; Moore e Griggs, 2002), muitas vezes sem levar em consideração outros fatores que podem influenciar a dinâmica da arriba ou a distribuição do risco (Teixeira, 2006; De Pippo *et al*, 2008).

No contexto desta dissertação, o risco é entendido como a probabilidade e severidade de efeitos adversos num determinado elemento ou conjunto de elementos expostos, sendo resultado da relação entre perigo, vulnerabilidade e valor dos elementos expostos (Varnes, 1984). Resumidamente, a cartografia final de risco resulta da seguinte expressão:

$$R = P \times V \times E \quad (4.1)$$

Onde:

P - Probabilidade de ocorrência de um movimento de massa numa dada área da arriba, com determinada magnitude e num determinado período temporal;

V - Vulnerabilidade do elemento exposto:

E - Valor do elemento exposto.

O procedimento metodológico adotado (Figura 4.1) consistiu em caracterizar a perigosidade dos fenómenos (probabilidade espacial, temporal e magnitude),

identificar as suas consequências nos elementos expostos (previamente identificados, qualificados e quantificados), e posteriormente, com base nestas informações e no valor dos elementos expostos, estimar o risco. Assim, o objetivo final consistirá na identificação de situações de risco e a quantificação dos custos diretos envolvidos.

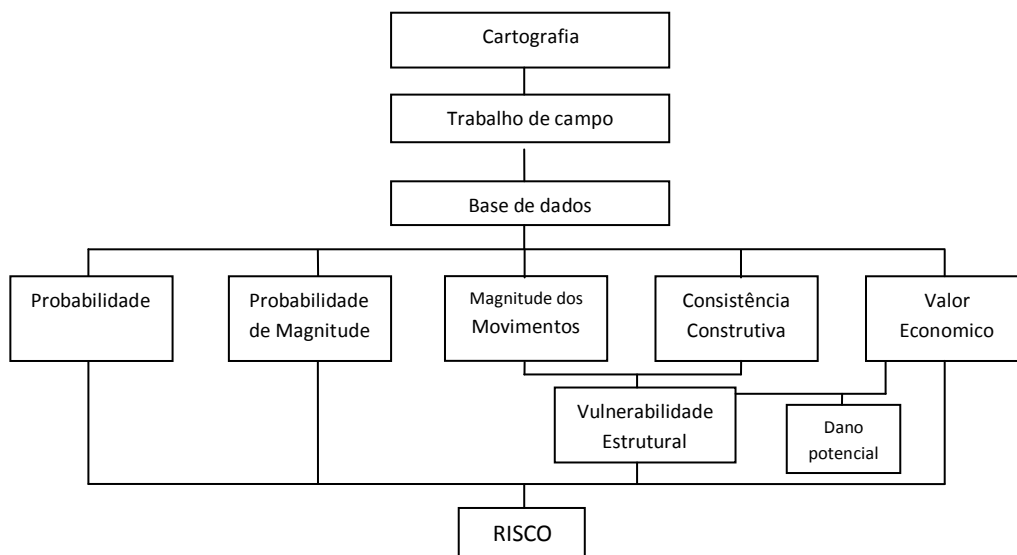


Figura 4.1 Procedimentos metodológicos da análise de risco em São Pedro de Moel

A análise de risco inclui a análise do perigo e análise de consequências. A análise do perigo envolve a caracterização do movimento (e.g. localização, classificação, dimensão, velocidade) e a frequência de ocorrência correspondente (probabilidade anual). A análise das consequências inclui a identificação e quantificação dos elementos em risco (de propriedades, estradas e pessoas), probabilidade temporal-espacial e a sua vulnerabilidade, seja como probabilidade condicional de dano da propriedade, ou de probabilidade condicional de perda de vida ou lesões (Fell *et al*, 2005).

A análise do risco pode ser qualitativa (probabilidades e perdas expressas por palavras ou escalas descritivas) ou quantitativa (probabilidades e perdas expressas num valor numérico) (Fell *et al*, 2005). Geralmente a análise qualitativa é utilizada em áreas extensas, onde a qualidade e quantidade de dados disponíveis são muitos escassos para uma análise quantitativa que requer informação mais específica e detalhada (Dai *et al*, 2002). Embora a análise qualitativa seja, por vezes, suficiente e apropriada (Fell e Hartford, 1997 *in* Garcia, 2012), a análise quantitativa, em termos de valor monetário, será uma mais valia para quem decide, permitindo um suporte mais efetivo à adoção de estratégias de gestão de risco (Garcia, 2012). Como já foi referido,

a análise do risco realizada neste trabalho é quantitativa, exprimindo a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de um movimento de vertente em arriba e a respetiva quantificação em termos de custos, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança da população em resultado do desencadeamento do fenómeno natural.

Existem outros conceitos associados ao risco que devem ser clarificados. O risco específico indica o grau de danos esperado devido a um fenómeno natural particular expresso pelo produto da perigosidade com a vulnerabilidade (Varnes, 1984). O dano potencial é o prejuízo ou perda expectável num elemento ou conjunto de elementos exposto, em resultado do impacto de um processo (ou ação) perigoso natural de determinada severidade, resultando da relação entre a vulnerabilidade e o valor económico (Julião *et al*, 2009).

A análise do risco pode ainda contemplar custos diretos e custos indiretos. Os custos diretos correspondem aos custos provocados diretamente pelo movimento de vertente. Os custos indiretos não são originados diretamente devido ao impacto do movimento, mas estão relacionados com a sua ocorrência. Neste trabalho serão abordados os custos diretos que corresponderão a substituições, reconstruções, reparações ou manutenções dos elementos expostos, resultantes da sua degradação, total ou parcial, na sequência de um movimento de vertente em arriba.

4.2 – INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E BASE DE DADOS

A análise de qualquer território deve ser suportada por bases cartográficas precisas e atualizadas que permitam uma boa identificação/diferenciação dos elementos existentes. No presente trabalho verificaram-se algumas limitações e entraves, relacionados com dificuldades na aquisição de informação de elevada qualidade, devidamente georreferenciada e validada.

Na fase inicial foi necessário escolher a zona a cartografar e os respetivos limites. Tendo em conta tratar-se de uma costa rochosa, e tomando em consideração o seu comportamento e evolução, foi estabelecida uma faixa de sensivelmente 150 metros a partir da crista da arriba em direção a terra. Na extremidade Norte esta faixa é limitada pelo Farol, pelo evidente valor histórico-cultural que este representa. O limite Sul é marcado pela interrupção da arriba e início da costa arenosa correspondente à praia de São Pedro de Moel.

Como suporte cartográfico utilizaram-se os respetivos dados altimétricos e ortofotomapas à escala 1:5000 de 2006. Para vetorizar os edifícios e a rede viária foi utilizada como base a cartografia vetorial do INAG (Instituto Nacional da Água), datada de 2001, à escala 1:2000, resultando na criação de dois novos ficheiros cartográficos. A visita ao local confirmou a vectorização previamente elaborada, no entanto foram corrigidos graficamente alguns elementos previamente vetorizados, de forma a obter uma maior precisão e qualidade.

Para construir a base de dados dos edifícios foram utilizados os dados dos censos 2011. Esta informação cedida pelo INE (Instituto Nacional de Estatística) é disponibilizada ao nível da BGRI (Base Geográfica de Referenciação de Informação) ou seja, subsecção estatística, o correspondente ao quarteirão em termos urbanos (Geirinhas, 2001). Embora seja a representação mínima possível de uma subsecção, foi fulcral o trabalho de campo e a observação direta das estruturas, de modo a obter as características individuais de cada edifício. Todos os edifícios foram validados no terreno, e cartografados como polígonos em ambiente SIG (Figura 4.2). A cada um dos polígonos foram atribuídos diferentes campos correspondentes a atributos do edifício (características gerais do edifícios, parâmetros de construção e áreas) (Quadro 4.1).

CARACTERÍSTICAS DOS EDIFÍCIOS	Tipologia	Funcionalidade atribuída ao edifício
	Idade do Edifício	Período de emissão da licença de utilização
	Nº de Pisos	Número de pisos do edifício, contabilizados desde o piso de entrada
	Estado de Conservação	Situação de preservação do edifício
PARÂMETROS DE CONSTRUÇÃO	Técnica de Construção	Tipo de técnica utilizada para estruturação dos edifícios, ou seja, o método construtivo que confere suporte à edificação
	Material de Construção	Tipos de materiais de construção predominantes no preenchimento das paredes dos edifícios
	Estrutura dos Pavimentos e Cobertura	Tipo de material utilizado para sustentação dos pisos e da cobertura do edifício
ÁREAS	Área do Edifício	Área total de implantação do edifício no solo
	Área Total	Produto da área ocupada pelo polígono correspondente ao edifício pelo número de pisos
	Área Total do Terreno	Soma da área do edifício com a área do terreno livre

Quadro 1.1 Campos atribuídos aos elementos edificados na base de dados (*Adaptado de Silva, 2011*)

A cartografia da rede viária foi muito menos exaustiva e, tal como os edifícios, foram cartografadas as rodovias que atravessam São Pedro de Moel e que estão dentro do limite da área de estudo, ou seja, até aos 150m a partir da crista da arriba (Figura 4.2). Assim, a conceção das novas cartas do edificado e da rede viária servirão de base para a continuidade do procedimento metodológico do cálculo do risco, e serão cruciais para poder perceber a realidade local dos elementos expostos em termos de perigosidade, vulnerabilidade e do próprio valor económico.

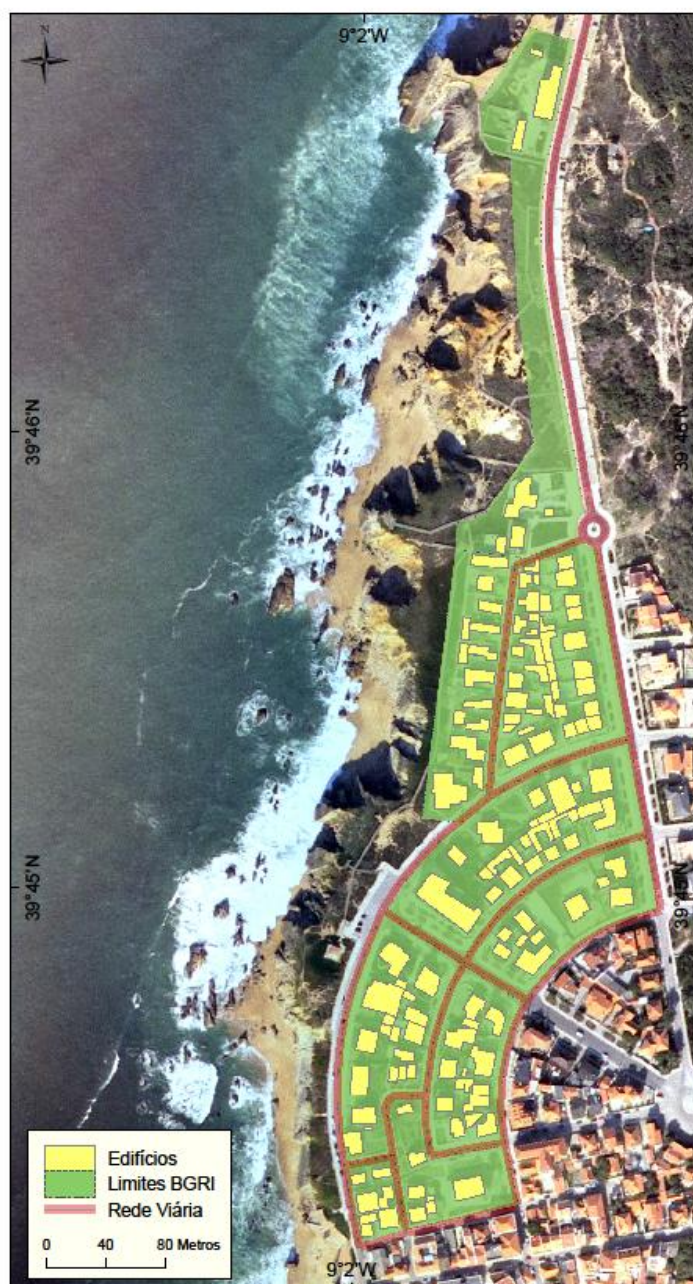


Figura 4.2 Cartografia dos edifícios, rede viária e limites da BGRI em São Pedro de Moel

4.3 - ELEMENTOS EXPOSTOS: TIPOLOGIA E CARACTERÍSTICAS

4.3.1 - EDIFÍCIOS

Tal como anteriormente indicado, a base de dados dos edifícios foi construída com base nos dados dos censos 2011. Das 9 BGRI escolhidas, foram identificados 91 edifícios, todos validados no terreno, e cartografados como polígonos em ambiente SIG. Relativamente à tipologia, os edifícios foram divididos em 4 grupos em função da respetiva função: edifícios com função residencial; edifícios com função comercial; edifícios com valor histórico-cultural; e outros edifícios ou estruturas (Figura 4.3).

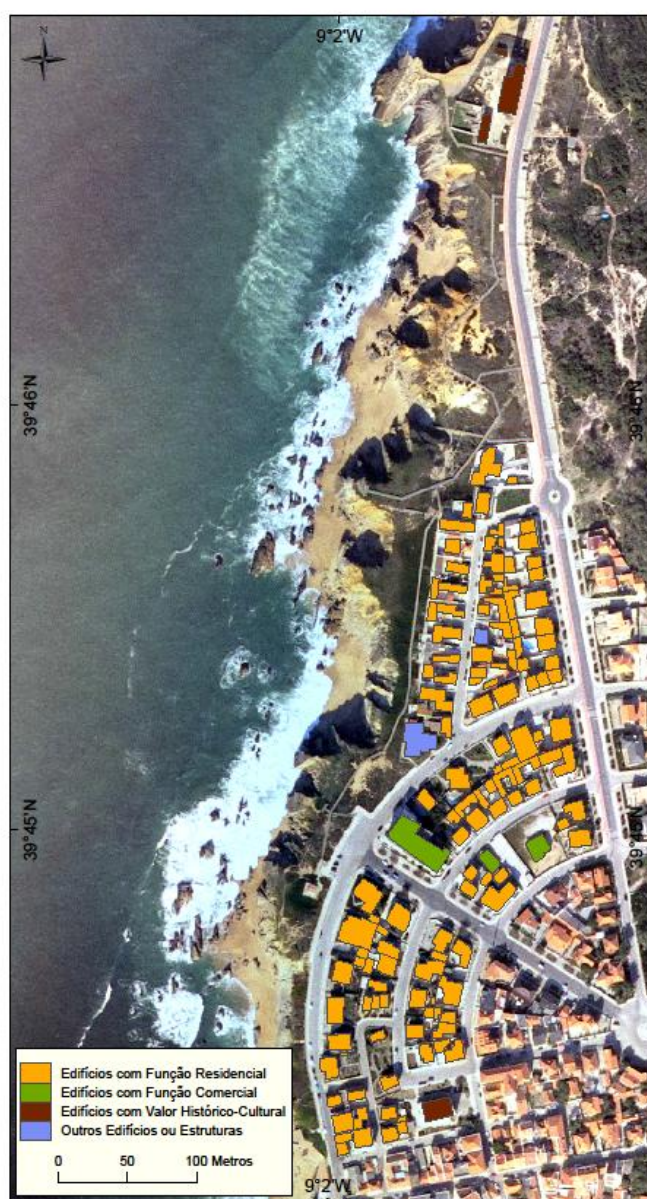


Figura 4.3 Tipologia dos edifícios em São Pedro de Moel em função da respetiva função

Foram identificados 84 edifícios com função residencial (Figura 4.4) (dos quais 4 residenciais – comerciais e 80 unicamente residenciais), 3 edifícios com função comercial (Figura 4.5) (1 hotel e 2 edifícios comerciais), 2 edifícios com valor histórico-cultural (Figura 4.6) (1 Igreja e 1 farol), e 2 na categoria de “outros edifícios ou estruturas” (Figura 4.7) (1 posto da força de segurança e 1 edifício devoluto). Os edifícios com função residencial representam 92,3% do total, sendo largamente maioritários por comparação com os que têm função comercial (3,3%), valor histórico-cultural (2,2%), e outros edifícios ou estruturas (2,2%).



Figura 4.4 Edifício com função residencial



Figura 4.5 Edifício com função comercial (hotel)



Figura 4.6 Edifício com valor histórico-cultural (Farol)



Figura 4.7 Edifício da classe "outros edifícios ou estruturas" (Posto de segurança)

4.3.2 - REDE VIÁRIA

As rodovias foram diferenciadas em 3 categorias (Figura 4.8) seguindo o mesmo critério que Silva (2011): rua urbana pavimentada (56,2 metros), rua urbana calçada (1580,2 metros) e estrada municipal pavimentada (657,9 metros), numa extensão total de 2294,2m.

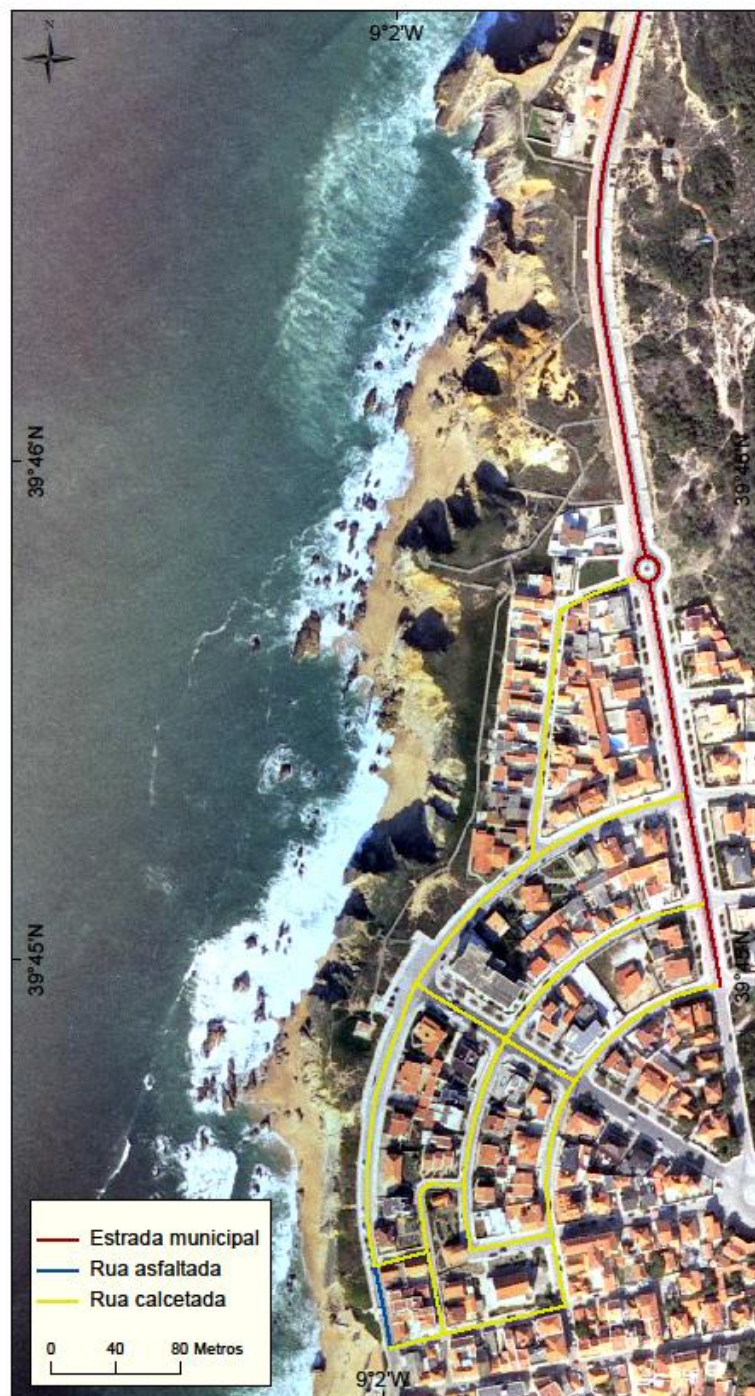


Figura 4.8 Tipologia da rede viária em São Pedro de Moel

A rodovia principal que passa São Pedro de Moel, correspondente localmente à Av. Do Farol (Figura 4.10), liga Água de Medeiros a Viera de Leiria e é apelidada de Estrada Atlântica. No interior do aglomerado urbano de São Pedro de Moel, as ruas são asfaltadas e calcetadas (Figura 4.9). São estradas bastante concorridas principalmente na época de veraneio no acesso às praias.



Figura 4.9 Ruas calcetadas no aglomerado urbano de São Pedro de Moel



Figura 4.10 Avenida do Farol. Estrada Municipal

4.4 - INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE

Para o estudo dos movimentos de vertente há necessidade de obter informação volumosa e com carácter necessariamente sistemático para permitir o posterior tratamento estatístico e representação cartográfica. A organização deste trabalho implica a elaboração de inventários, produzidos com trabalho de campo para o registo sistemático de todas as características consideradas fundamentais ao estudo da dinâmica de vertentes (Teixeira, 2009). Um inventário das instabilidades com a localização espacial dos movimentos é considerado essencial no processo de avaliação da suscetibilidade á instabilidade geomorfológica (Pereira, 2009).

O conjunto de dados utilizados neste estudo pertence a um levantamento realizado em escala regional pelo departamento de geologia da FCUL, ao longo dos vários trechos de costa de arriba no litoral sob jurisdição da ARH Tejo. As instabilidades apuradas ocorreram no último meio século (1947 a 2010) numa litologia composta por calcários, calcários margosos e margas calcárias. A análise requereu a observação comparada de fotografias aéreas antigas, anos 40 e 50 do século XX e recentes, por métodos fotogramétricos ou outros simplificados com rigor adequado ao fim em vista, devidamente validado com trabalho de campo. Apenas é utilizada uma amostra de 32

movimentos, que correspondem à envolvente de São Pedro de Moel, especificamente entre a Polvoeira e o farol de São Pedro de Moel/Praia Velha (Figura 4.11). Na elaboração do inventário das instabilidades¹ identificou-se o intervalo de análise, a área total do movimento, o comprimento afetado, o recuo local máximo da crista, o recuo local, a altura da arriba e a litologia do material (Figura 4.12).

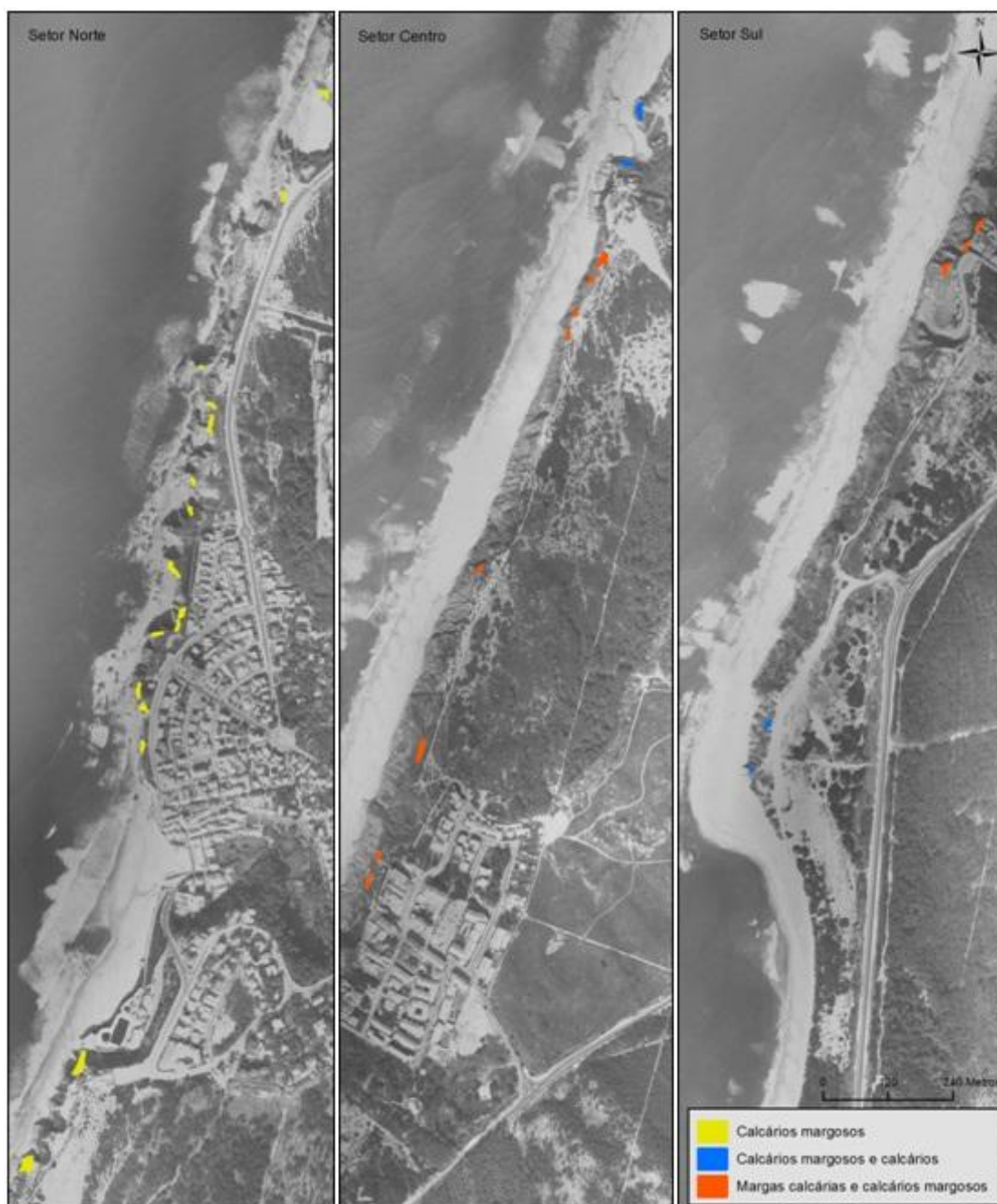


Figura 4.11 Distribuição espacial dos movimentos de vertente e respetiva litologia da Polvoeira à Praia Velha

	Intervalo (anos)	Área Total (m²)	Comprimento Afetado (m)	Recuo Máximo (m)	Recuo Local (m)	Altura (m)	Litologia
1	1980-2010	45,6	20	5	2,3	16	Calcários margosos
2	1947-2010	48,0	26	3	1,8	20	Calcários margosos
3	1958-2010	11,1	9	2	1,2	18	Calcários margosos
4	1947-2010	16,3	13	2	1,3	16	Calcários margosos
5	1947-1958	25,7	13	4	2,0	19	Calcários margosos
6	1980-2010	89,3	20	7	4,5	24	Calcários margosos
7	1980-2010	99,0	30	6	3,3	23	Calcários margosos
8	1980-2010	26,8	19	2	1,4	25	Calcários margosos
9	1958-2010	25,3	19	2	1,3	25	Calcários margosos
10	1958-2010	34,5	27	4	1,3	18	Calcários margosos
11	1947-1980	59,1	17	9	3,5	19	Calcários margosos
12	1980-2010	29,9	19	2	1,6	14	Calcários margosos
13	1980-2010	325,6	33	15	9,9	13	Calcários margosos
14	1958-2010	107,9	37	7	2,9	13	Calcários margosos e calcários
15	1980-2010	29,7	15	3	2,0	19	Calcários margosos
16	1958-2010	6,0	5	2	1,2	24	Calcários margosos
17	1980-2010	21,7	16	2	1,4	24	Calcários margosos
18	1980-2010	249,7	46	9	5,4	17	Calcários margosos
19	1947-2010	49,9	23	4	2,2	10	Calcários margosos e calcários
20	1947-2010	151,3	28	10	5,4	15	Margas calcárias e calcários margosos
21	1947-2010	28,2	18	3	1,6	17	Margas calcárias e calcários margosos
22	1947-2010	18,9	16	2	1,2	20	Margas calcárias e calcários margosos
23	1947-2010	20,2	14	3	1,4	20	Margas calcárias e calcários margosos
24	1947-2010	29,8	14	3	2,1	26	Margas calcárias e calcários margosos
25	1947-2010	130,3	42	4	3,1	31	Margas calcárias e calcários margosos
26	1947-2010	40,1	18	3	2,2	35	Margas calcárias e calcários margosos
27	1947-2010	37,5	25	3	1,5	34	Margas calcárias e calcários margosos
28	1947-2010	52,9	23	4	2,3	36	Margas calcárias e calcários margosos
29	1947-2010	28,5	18	3	1,6	36	Margas calcárias e calcários margosos
30	1947-2010	71,4	23	8	3,1	33	Margas calcárias e calcários margosos
31	1947-2010	34,0	18	4	1,9	28	Calcários margosos e calcários
32	1947-2010	13,0	8	3	1,6	20	Calcários margosos e calcários

Figura 4.12 Inventário dos movimentos de vertente ocorridos entre a Polvoeira e a Praia Velha

Importa frisar que a determinação da tipologia não foi realizada neste inventário, no entanto o estudo de Tavares *et al* (2010) sobre a avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente de massa nas arribas entre S. Pedro de Moel e a Praia da Polvoeira, permitiu individualizar quedas de blocos, desprendimentos, deslizamentos translacionais e deslizamentos rotacionais superficiais. Os mesmos autores, na avaliação da distribuição dos movimentos associam os desprendimentos à inclinação e altura das arribas em São Pedro de Moel.

O total da área instabilizada é de 1957,2m², com uma média de 61,2 m², variando entre o mínimo de 6m² e um máximo de 325,6m². Relativamente ao comprimento afetado, a média ronda os 21m, com valores que variam entre 5m e 46m. O recuo máximo oscila entre 2m e 15m, sendo a média do total da amostra dos movimentos cerca de 4m. O recuo local apresenta um mínimo de 1,2m e um máximo de 9,9m, sendo a média de 2,5m. Agrupando a informação pela litologia (Quadro 4.2), verifica-se que o maior número de eventos de instabilidade ocorre em calcários margosos, bem como a área instabilizada. O recuo máximo rondou em média os 4 e 5m nas 3 litologias.

	Eventos		Área instabilizada			Recuo máximo
	Nº	%	m ²	%	média	média
Calcários margosos	17	53,1	1143	58,4	67,2	5,0
Calcários margosos e calcários	4	12,5	204,8	10,5	51,2	4,0
Margas calcárias e calcários margosos	11	34,4	609,3	31,1	55,4	5,0
TOTAL	32	100	1957,1	100	-	-

Quadro 4.2 Características dos movimentos segundo a litologia

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE, VULNERABILIDADE E VALOR ECONÓMICO

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE, VULNERABILIDADE E VALOR ECONÔMICO

5.1 - DETERMINAÇÃO DA PERIGOSIDADE

A perigosidade, entendida como a probabilidade de ocorrência de um fenômeno perigoso com uma determinada magnitude, numa determinada área e num dado período de tempo, incorpora 3 conceitos (Varnes *et al*, 1984; Guzzetti *et al*, 1999): localização geográfica, tempo de recorrência e magnitude. A componente espacial diz respeito à identificação do local onde o fenômeno pode ocorrer – suscetibilidade; a componente temporal tem em vista a determinação da probabilidade ou da recorrência do fenômeno; e por fim a magnitude contempla a avaliação da dimensão ou intensidade do fenômeno, que permite estimar o seu potencial destrutivo (Garcia, 2012). Deste modo, para além da dimensão espacial, a perigosidade incorpora a magnitude do evento e a sua frequência de ocorrência (Pereira, 2009). Com isto pretende-se responder à questão: Qual é a frequência de ocorrência de um movimento com determinada dimensão, numa dada área e período de tempo?

Assim, o resultado probabilístico da perigosidade será o produto de:

$$P = S \times T \times A \quad (5.1)$$

S – Probabilidade espacial

T – Probabilidade temporal

A – Probabilidade de magnitude

Na presente dissertação, a componente da perigosidade contempla uma probabilidade conjunta espaço-temporal e a probabilidade de magnitude, parâmetros essenciais para o cálculo do risco como indicado no capítulo anterior. Em ambas as componentes probabilísticas, utilizou-se a relação magnitude-frequência, extremamente importante para determinar a perigosidade (Guzzetti *et al*, 2005).

5.1.1- PROBABILIDADE ESPÁCIO-TEMPORAL

A análise quantitativa do risco de movimentos de vertente depende das probabilidades, espacial e temporal, de ocorrência das manifestações de instabilidade, mas também da intensidade do fenómeno, sendo por isso dependente das relações magnitude-frequência (Hung *et al*, 2008). Nesta análise foram considerados 32 movimentos, no intervalo de tempo entre 1947 a 2010. A magnitude estimada com base no recuo máximo varia entre 2 metros em instabilidades mais pequenas e 15 metros em instabilidades maiores.

Os movimentos foram divididos em 6 classes por ordem ascendente de recuo máximo, A frequência foi obtida dividindo o número de ocorrências em cada classe pela dimensão do intervalo de classe, e normalizadas dividindo o valor obtido pelo número total de instabilidades inventariadas (Malamud *et al*, 2004). O resultado projetado no gráfico bi-logarítmico (figura 5.1) apresenta as instabilidades de maior dimensão numa lei de potência inversa do tipo $y = a.x^{-b}$.

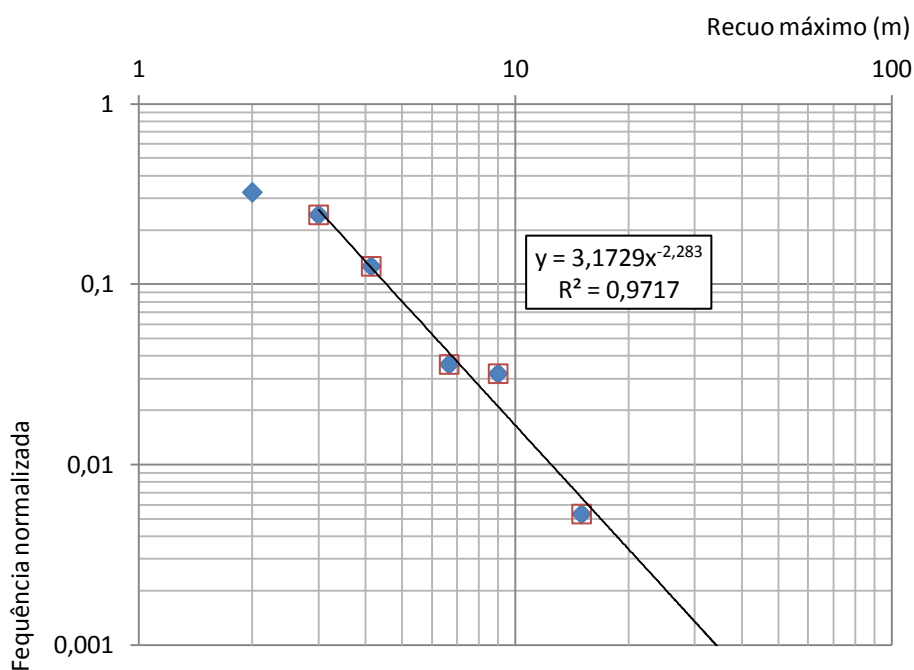


Figura 5.1 Relação magnitude-frequência com base no inventário das instabilidades

O traçado da probabilidade a partir da crista da arriba (Figura 5.2), gerado através da distribuição magnitude-frequência tendo em conta o recuo máximo verificado, é resultado da inventariação das instabilidades de uma serie temporal de aproximadamente 60 anos (1947-2010), Admitindo-se que o recuo seja constante em toda a área de estudo, definiram-se espacialmente seis classes de probabilidade num intervalo logarítmico entre 1 (muito elevada) e 0,00001 (baixa ou nula).

Uma condição essencial para efetuar uma análise de perigosidade é a que um valor de probabilidade esteja associado a um período temporal (Chung e Fabbri, 2003). A avaliação da frequência temporal de ocorrência de movimentos de vertente, teve em conta o período de retorno, que através do seu inverso, permite o cálculo da probabilidade de ocorrência dos mesmos ($Prob. t = \frac{1}{p}$). Em termos temporais a cada *buffer* (isto é, linha de igual valor de probabilidade) corresponde um período de retorno, isto significa que uma probabilidade igual a 1 ($p=1$) corresponderá a um período de retorno de 1 ano, da mesma forma que $p=0,1$ a 10 anos; $p=0,01$ a 100 anos; $p=0,001$ a 1000 anos; 0,0001 a 10000 anos; e $p=0,00001$ a 100000 anos.

A representação gráfica da probabilidade espácio-temporal demonstra que esta decresce quanto mais afastada está da crista da arriba. Significa isto que, junto á crista da arriba, a probabilidade é máxima (1); inversamente, a 150m da crista da arriba a perigosidade será o equivalente a uma probabilidade de 0,00001. Por outras palavras, nos primeiros 1,7m a partir da crista da arriba a probabilidade de ocorrência de instabilidade é máxima, em contrapartida a uma distância de 150m esta será muito reduzida, e entre as duas ($\pm 75m$) a probabilidade de ocorrência de um movimento será moderada.



Figura 5.2 Probabilidade de ocorrência de movimentos em São Pedro de Moel

No que respeita à exposição dos elementos em risco considerados no presente trabalho, optou-se por uma situação conservadora, considerando que um elemento abrangido por duas classes de probabilidade espaço-temporal, assumiria o valor da classe mais alta, de maior probabilidade, ou seja, correspondente à situação mais próxima da crista da arriba (figura 5.3).



Figura 5.3 Exemplo de método adotado quando um elemento abrange duas classes de probabilidade

A probabilidade mais alta registada é de 0,01 (probabilidade elevada), registando-se em 2,2% dos edifícios e 2% das vias. Em áreas de probabilidade de ocorrência moderada, ou seja $p=0,001$, encontram-se 19,8% dos edifícios e 18,7% das vias. 78% dos edifícios e 79,3% das vias apresentam $p=0,0001$ ou inferior, isto é, probabilidade muito reduzida.

5.1.2 - PROBABILIDADE DE MAGNITUDE

A probabilidade de magnitude de um movimento, isto é, a probabilidade de ocorrência de uma instabilidade com determinada magnitude (Picarelli *et al*, 2005), foi obtida através da relação magnitude-frequência dos movimentos de vertente inventariados na arriba entre a Polvoeira e a Praia Velha. Segundo Marques (2008), a magnitude em arribas pode ser expressa em termos da área afetada por cada movimento, a qual é mais facilmente medida do que o volume mobilizado. Deste modo, na presente dissertação utiliza-se a área do movimento de vertente como indicador da sua magnitude, seguindo o proposto por exemplo por Pelletier *et al* (1997), Malamud *et al* (2004), Guzzetti *et al* (2002) e Guzzetti *et al* (2005).

Na relação de magnitude-frequência, a magnitude é expressa sob a forma de área das instabilidades inventariadas. A frequência é analisada em classes de áreas com dimensão igual em escala logarítmica, definida para que as instabilidades tenham distribuição homogênea em cada classe, tentando sempre que possível que o tamanho médio dos eventos contidos numa classe sejam próximos do valor médio dos limites da classe (Marques, 2008). A frequência foi obtida dividindo o número de ocorrências em cada classe pela dimensão do intervalo de classe, e normalizadas dividindo o valor obtido pelo número total de instabilidades inventariadas (Malamud *et al*, 2004). Os resultados são projetados em gráfico bi-logarítmico com o eixo das abcissas para a magnitude (área) e o das ordenadas para a frequência normalizada (Figura 5.3). Neste gráfico, as instabilidades de maior dimensão segue uma lei de potência inversa do tipo $y = a.x^{-b}$. O valor do expoente ($\beta = -1,824$) para a frequência normalizada está ligeiramente abaixo do proposto por Malamud *et al* (2004) (Marques, 2008). Segundo Guzzetti *et al* (2002) e Guzzetti (2005), as diferenças entre expoentes podem estar relacionadas com causas naturais (relacionadas com litologia, morfologia do terreno, clima, etc) ou razões metodológicas (diferenças nos dados ou nos métodos utilizados para obter a distribuição das frequências).

Nos resultados obtidos, os movimentos menores apresentam maior frequência, enquanto os movimentos maiores são menos frequentes. Como se pode observar na figura 5.4., obtiveram-se melhores resultados através do ajuste de uma reta potencial aos movimentos de vertente de média e grande dimensão na área de estudo, tendo sido descartada a classe de movimentos mais pequenos.

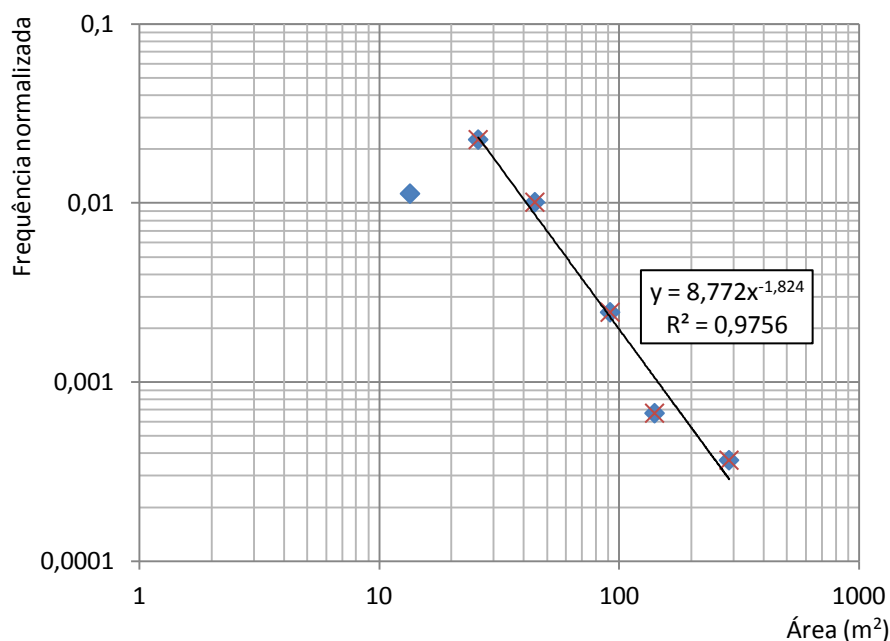


Figura 5.4 Relação entre a área e a frequência normalizada dos movimentos de vertentes identificados na arriba entre a Polvoeira e a Praia Velha

A probabilidade de magnitude obtida através da leitura do gráfico (Figura 5.4), mostra-nos que esta diminui em função do incremento da área dos movimentos de vertente. Isto significa que um movimento de 1m² junto à crista da arriba corresponde à probabilidade de magnitude máxima de 1, enquanto que a probabilidade de ocorrência de um movimento com área igual ou superior a 1000m² é de apenas 0,00003 (Quadro 5.1).

Área dos movimentos (m ²)	Probabilidade de magnitude
1	1
10	0,15
100	0,002
1000	0,00003

Quadro 5.1 Probabilidade de magnitude dos movimentos de vertente nas arribas de São Pedro de Moel

5.2 – DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESTRUTURAL

No presente trabalho considera-se vulnerabilidade como “o grau de perda de um dado elemento ou conjunto de elementos resultante da ocorrência de um determinado fenómeno natural com uma certa magnitude (Varnes, 1984). O método de avaliação da vulnerabilidade utilizado neste trabalho é apenas aplicado à análise de danos diretos em edifícios e vias – vulnerabilidade estrutural/física. A análise da vulnerabilidade das pessoas e a quantificação de danos corporais não se efetua neste trabalho, devido por um lado à limitação de dados a este respeito, à relatividade ética e moral da tarefa, e ao facto de não ser um dado estático e de estar sazonalmente influenciado pela época de veraneio, onde a ocupação das habitações, utilização das praias e circulação junto às arribas é substancialmente maior comparativamente ao resto do ano. No entanto importa frisar que, em ambiente costeiro de arriba, os movimentos de vertente são instantâneos, sendo bastante elevada a possibilidade de uma pessoa ser atingida pelo material mobilizado, no caso de se encontrar na trajetória do movimento, pelo que se trata de uma fonte de risco que não deve ser desvalorizada.

Nesta dissertação, considera-se que a vulnerabilidade estrutural é função de dois fatores: a consistência construtiva da estrutura ou infraestrutura (edifício ou via); a magnitude do movimento de vertente.

5.2.1 - AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA CONSTRUTIVA

Para a avaliação da consistência construtiva dos edifícios foram utilizadas as características de construção, que indicam o grau de solidez das estruturas, a fim de compreender o seu nível de resistência face a um movimento de vertente na arriba. Esta avaliação baseou-se numa inspeção visual no terreno, durante a qual foram avaliados as seguintes variáveis: técnica de construção; material de construção dominante no enchimento das paredes; estrutura dos pavimentos e cobertura; número de pisos; e estado de conservação. Recorreu-se ao trabalho desenvolvido por Silva (2011), que a cada uma das componentes de cada parâmetro atribuiu heurísticamente uma ponderação entre 0 (resistência mínima) e 1 (resistência máxima) (Quadro 5.2).

Parâmetros de Construção	Ponderação
1) Técnica de Construção	30%
Edifícios com paredes de tijolo argamassado confinado por betão armado	1
Edifícios com paredes de tijolo argamassado	0,5
Edifícios com paredes de pedra aparelhada argamassada	0,5
Edifício ou estruturas em madeira (resistentes)	0,4
2) Material de Construção Dominante	30%
Tijolo	0,5
Madeira (resistente)	0,4
3) Estrutura dos Pavimentos e Cobertura	20%
Placa de betão armado	1
Outros elementos	0,2
Sem estrutura de pavimentos ou cobertura	0,0
4) Número de pisos	10%
≥ 2	1
1	0,7
0 (estrutura térrea)	0
5) Estado de Conservação	10%
Bom	1
Razoável (bom)	0,7
Razoável (mau)	0,3
Mau	0,1

Quadro 5.2 Parâmetros de avaliação da consistência construtiva dos edifícios. (Adaptado de Silva, 2011)

As técnicas de construção utilizadas definem a forma como os edifícios são estruturados, erguidos e sustentados, e por isso têm um peso de 30% na determinação da consistência construtiva do edifício. O betão armado tradicional é uma técnica de construção que envolve materiais simples (o betão e o aço) que, pelas suas propriedades individuais e características como material compósito, têm conduzido a grandes edificações estruturais contemporâneas com sucesso (Juvandes e Reis, 2012). É utilizado frequentemente, pela sua maior solidificação, segurança e resistência (Lopes, 2008 *in* Silva, 2011). Nalgumas estruturas identificadas, nomeadamente nas mais antigas, as paredes são o único sustentáculo das construções, podendo ser totalmente de tijolo ou de pedra aparelhada argamassada. Também os materiais dominantes pesam 30% na avaliação da consistência construtiva, pela influência decisiva que desempenham na resistência das estruturas. O tijolo pela sua simplicidade, resistência e durabilidade é dos materiais mais utilizados na construção. O parâmetro da estrutura dos pavimentos e cobertura pesa 20% na avaliação da consistência construtiva. A cobertura é o que cobre um edifício, incluindo o revestimento e a estrutura que o sustenta, o pavimento é a vedação horizontal interna (de compartimentação). Ambos diferenciam a perenidade dos edifícios face aos movimentos de vertente porque acabam por regular a integridade das paredes e da configuração da estrutura (Silva, 2011). Por último, o número de pisos e o estado de conservação pesam 10% cada na avaliação da consistência construtiva. Relativamente ao primeiro parâmetro, quanto maior o número de pisos maior será a resistência da estrutura, dado que as técnicas utilizadas serão mais consistentes e de maior solidez para suportar o próprio peso. Considera-se estrutura térrea a edifícios com apenas rés-do-chão, ou ao piso de entrada. O segundo parâmetro tem em consideração o nível de saturação dos materiais e deteriorização dos mesmos, isto é, um edifício em perfeito estado de conservação, sem roturas ou fendas terá uma resistência superior a um edifício que se apresente em mau estado. Num estado de conservação razoável-bom, a estrutura está moderadamente conservada, a cobertura e o telhado em condições estáveis, no entanto existem pequenas fendas ou aberturas nas paredes, necessitando de pequenas intervenções a médio prazo. Nos edifícios em bom estado, a estrutura está perfeitamente conservada, apresentando capacidade de habitabilidade. Edifícios num estado de conservação razoável-mau apresentam fendas ou aberturas significativas nas paredes, e necessidade de obras de reparação a curto prazo. Por fim, em edifícios mau estado, a estrutura está parcialmente destruída, sem cobertura/telhado, sem capacidade de habitabilidade ou utilização sem a realização de grandes intervenções estruturais.

Na área de estudo verifica-se um domínio de edifícios com paredes de tijolo argamassado confinado por betão armado, e paredes de tijolo argamassado em relação às outras técnicas de construção (Figura 5.5). As paredes de pedra aparelhada argamassada constituem uma minoria, no entanto são visíveis na base das paredes exteriores, dispostas em camadas e ligadas entre si por argamassas de cimento. Os edifícios são constituídos maioritariamente por tijolo, e apenas uma estrutura é constituída por madeira (resistente). Apesar de muitas estruturas serem confinadas por betão armado, em 98,9% dos edifícios o material dominante é tijolo. No que respeita à estrutura dos pavimentos e cobertura, a maioria é constituída por placa de betão armado e outros elementos, usados como estruturas de suporte dos pavimentos e coberturas devido à elevada resistência e durabilidade (Costa e Appleton, 2002). A maioria das habitações são moradias unifamiliares e têm 1 piso (Figura 5.6) e apresentam dominantemente um estado de conservação razoável - bom (Figura 5.7).

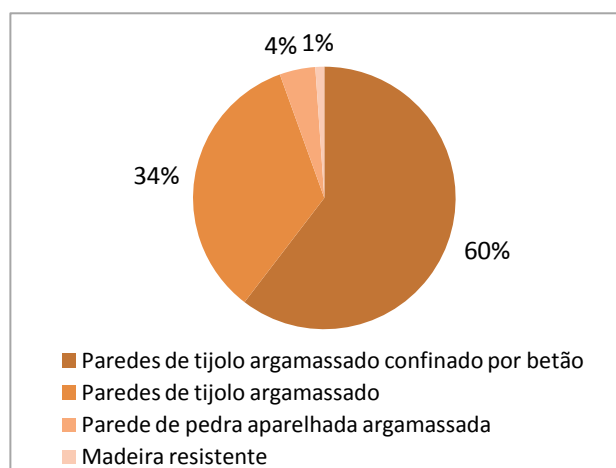


Figura 5.5 Técnicas de construção dominantes em São Pedro de Moel

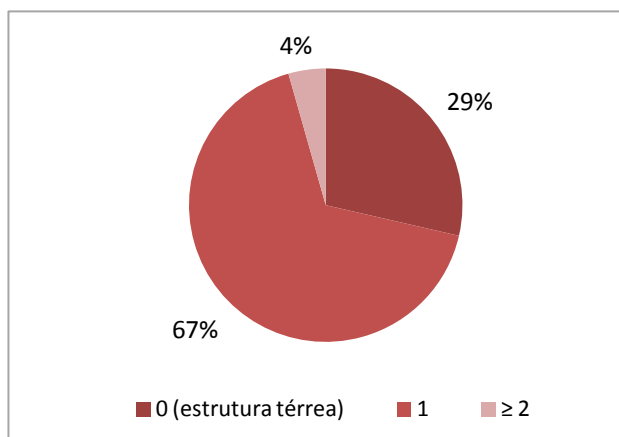


Figura 5.6 Número de pisos dos edifícios em São Pedro de Moel

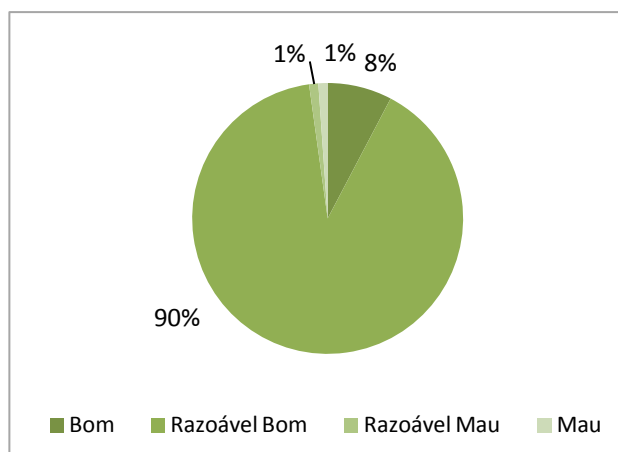


Figura 5.7 Estado de conservação dos edifícios em São Pedro de Moel

A consistência construtiva dos edifícios foi avaliada da seguinte forma:

$$CC = (Técnica de Construção \times 0,3) + (Material Dominante \times 0,3) + (Estrutura do Pavimento e Cobertura \times 0,2) + (Número de Pisos \times 0,1) + (Estado de Conservação \times 0,1)$$

(5.2)

Aplicando a fórmula (5.2), por exemplo, a um edifício com paredes de tijolo argamassado confinado por betão armado, tendo tijolo como material dominante, placa de betão armado, 1 piso, e em bom estado de conservação, teríamos: $CC = (1 \times 0,3) + (0,5 \times 0,3) + (1 \times 0,2) + (0,7 \times 0,1) + (1 \times 0,1)$, resultando em 0,85, o que corresponde a um valor elevado de resistência. Em oposição, um edifício térreo, cuja técnica de construção assenta apenas em paredes de tijolo argamassado, sem estrutura de pavimentos ou cobertura, e em mau estado de conservação, teria uma consistência construtiva equivalente a $(0,5 \times 0,3) + (0,5 \times 0,3) + (0 \times 0,2) + (0 \times 0,1) + (0,1 \times 0,1)$, resultando em 0,38, o que significa uma estrutura pouco resistente.

Tal como nos edifícios, a consistência construtiva para a rede viária varia consoante a tipologia da rodovia, entre 0 (resistência mínima) e 1 (resistência máxima). Neste trabalho utilizaram-se as ponderações propostas por Silva (2011), para tipificar a resistência e a qualidade da construção das vias. Deste modo, atribuiu-se à estrada municipal uma valoração de 0,6, à rua asfaltada 0,4 e à rua calçetada 0,3. Assume-se assim que a estrada municipal será muito mais resistente a um movimento de vertente

do que por exemplo uma rua calçetada, cuja resistência construtiva será incontestavelmente menor.

Obteve-se, desta forma, o mapa final da consistência construtiva (Figura 5.8), que embora tente representar de uma forma fiel aquilo que é a capacidade de resistência de uma estrutura, seja edifício ou rodovia, deverá ser tomado apenas como uma indicação, face à elevada incerteza associada à atribuição das ponderações das variáveis consideradas.

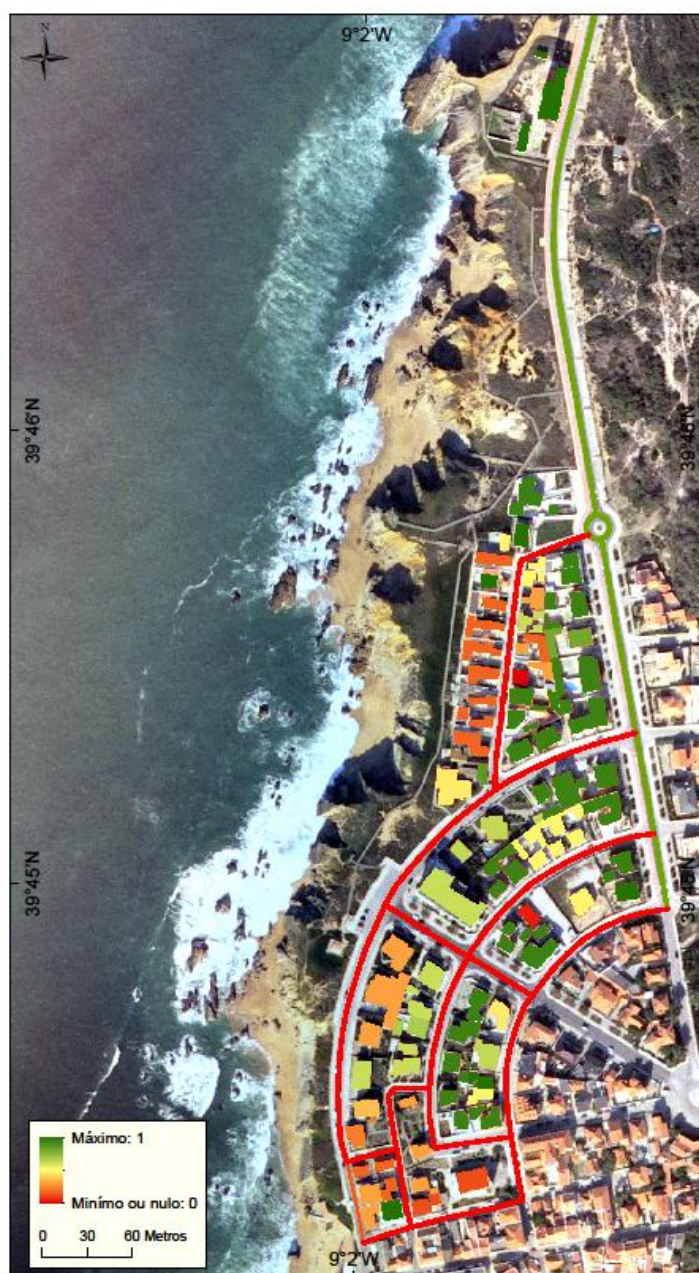


Figura 5.8 Consistência construtiva dos edifícios e rede viária em São Pedro de Moel

5.2.2 - GRAUS DE DANO NA DEPENDÊNCIA DA MAGNITUDE DOS MOVIMENTOS

O grau de vulnerabilidade de um elemento exposto á instabilidade da arriba será o resultado da relação entre a magnitude expectável e a resistência da estrutura face a tal ocorrência. Deste modo, a vulnerabilidade não pode ser entendida como independente do fenómeno, ela depende das características estruturais do elemento exposto, mas a sua avaliação implica a consideração do comportamento do elemento quando é confrontado com a ocorrência de um fenómeno perigoso, cuja magnitude seja conhecida (Garcia, 2012). Como tal, utilizou-se a expressão (5.3), proposta por Silva (2011) que relaciona a magnitude do movimento e a capacidade de resistência do elemento exposto. O resultado corresponderá à vulnerabilidade estrutural, que varia entre 0 (sem danos) e 1 (perda total):

$$V = M \times (1 - CC) \quad (5.3)$$

V – Vulnerabilidade

M – Magnitude

CC – Consistência Construtiva

Seguindo o pressuposto que um mesmo elemento poderá apresentar vulnerabilidades diferentes perante movimentos de vertente com diferentes magnitudes, optou-se neste trabalho pela consideração das seguintes dimensões de movimentos de vertente: $1m^2$, $10m^2$, $100m^2$ e $1000m^2$. Relativamente à magnitude, esta foi estimada individualmente para cada movimento, com valores entre 0 (magnitude nula) e 1 (magnitude máxima). De forma heurística atribuíram-se as magnitudes de 0,1; 0,5; 0,8 e 1, a movimentos de vertente com $1m^2$, $10m^2$, $100m^2$, e $1000m^2$ respetivamente.

Segundo Guzzetti *et al* (2005), movimentos de vertente maiores tendem a produzir danos maiores nos elementos afetados. Adicionalmente, há a tendência para que o grau de dano produzido em estruturas e infraestruturas se torne independente das características estruturais dos elementos e se aproxime do máximo, quando os movimentos de vertente são de elevada magnitude.

Neste trabalho pressupõe-se que, para movimentos de vertente com área superior a $100m^2$ a vulnerabilidade estrutural é controlada exclusivamente pela magnitude do

movimento, sendo indiferente à consistência construtiva. Assim, para movimentos de vertente com área superior a 100 m², a vulnerabilidade estrutural é determinada por:

$$V = M \quad (5.4)$$

A análise da vulnerabilidade estrutural em São Pedro de Moel foi efetuada em termos individuais para cada tipo de elemento (edifícios e vias). O quadro 5.3 representa os graus de vulnerabilidade e a respetiva descrição dos danos esperados.

Grau de Vulnerabilidade	Edifícios	Rede Viária
0	Sem danos	Sem danos
0,01 - 0,1	Leves danos não estruturais; estabilidade não afetada	Sem danos significativos: acumulação de material na via, mas permite a continuação da circulação
0,2 - 0,3	Fissuração de muros e paredes; estabilidade não afetada; sem urgência de reparações	Danos que afetam a estrutura mas que não impedem a circulação: pequenas fraturas e abatimentos
0,4 - 0,5	Deformações importantes; grandes aberturas nos muros e paredes; fissuração de estruturas de suporte; estabilidade afetada; portas e janelas inutilizáveis; evacuação necessária	Sem danos estruturais significativos mas que provocam a interrupção da circulação: principalmente danos devido à acumulação de material
0,6 - 0,7	Deformações graves; estrutura e estabilidade fortemente afetada; evacuação imediata	Fraturas ou abatimentos que danificam a estrutura da via mas cujo restabelecimento da circulação se pode efetuar de modo relativamente expedito
>0,8	Destruição total; qualquer elemento terá irremediavelmente comprometida a sua estrutura	Fraturas ou abatimentos que danificam gravemente a estrutura da via. Intervenções complexas e demoradas na via podendo originar o abandono da via

Quadro 5.3 Relação tipo de dano e grau de vulnerabilidade (*adaptado de Alexander, 1989 in Garcia, 2012*)

Quanto maior a vulnerabilidade maior é o dano provocado no edifício, e maior a deformação e perda de estabilidade da estrutura. Na rede viária, segundo Garcia (2012), a funcionalidade da rodovia é posta em causa nas classes de danos mais elevados, enquanto que nas primeiras classes os danos na via são ligeiros, mantendo a funcionalidade da mesma.

A figura 5.9 representa vulnerabilidade estrutural para a área de estudo de acordo com diferentes cenários de dimensão dos futuros movimentos de vertente, tendo em conta a consistência construtiva dos edifícios e vias e a magnitude dos movimentos.

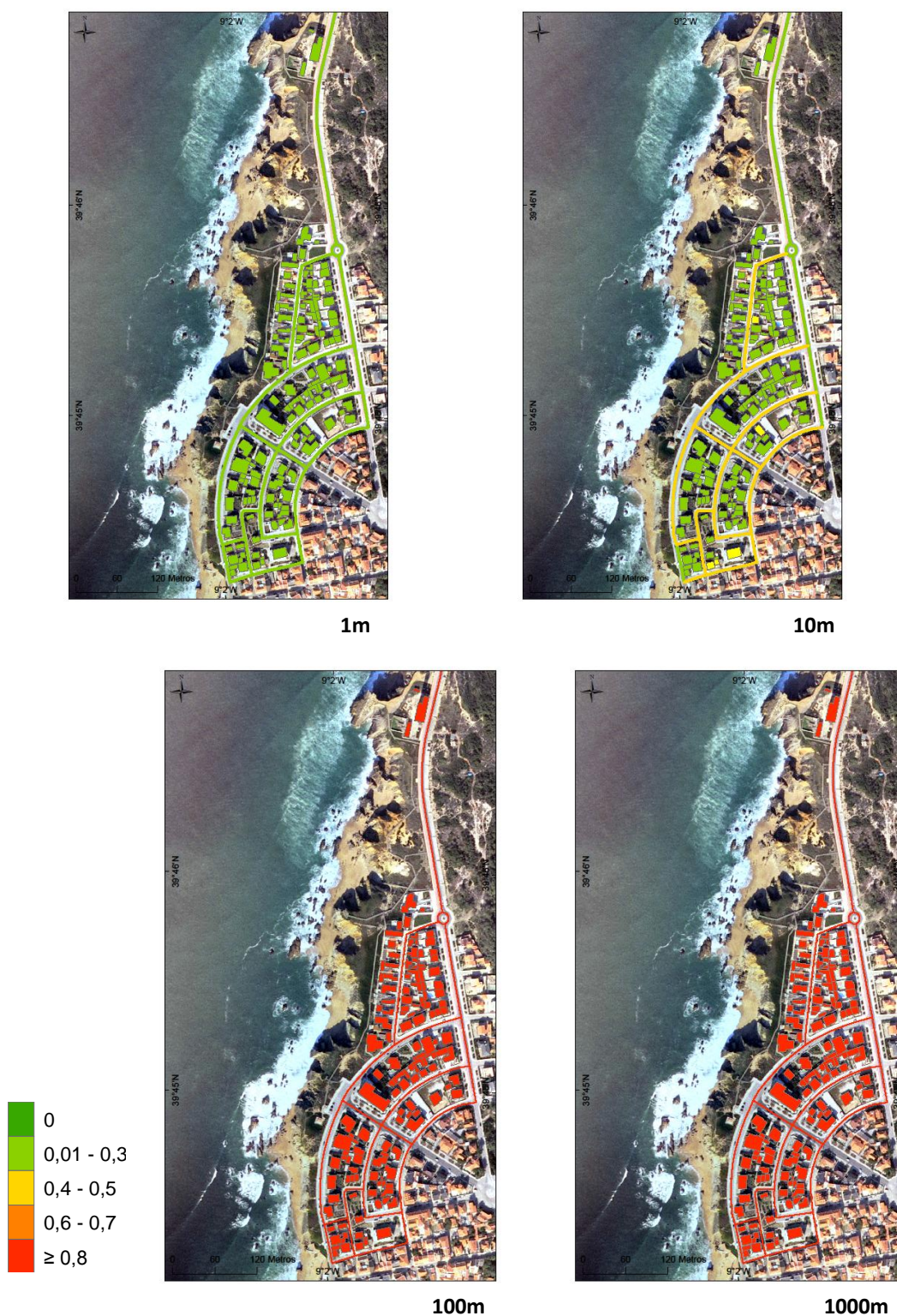


Figura 5.9 Vulnerabilidade estrutural dos edifícios e rede viária em São Pedro de Moel segundo o cenário de magnitude (áreas em m^2)

Para movimentos de vertente com 1m^2 a vulnerabilidade é muito reduzida para a totalidade dos edifícios e tipos de vias. Para movimento de vertente com 10m^2 , verifica-se que as estradas são mais vulneráveis que os edifícios, nomeadamente nas ruas calcetadas, onde são expectáveis os graus de dano mais elevados. Para movimentos de vertente com área igual ou superior a 100m^2 , os elementos expostos terão a sua estrutura irremediavelmente comprometida, independentemente de respetiva resistência.

5.3 - ESTIMATIVA DO VALOR ECONÓMICO

O valor económico dos edifícios foi estimado através da fórmula de cálculo utilizada pela Direção Geral de Impostos (5.4) para determinação o valor patrimonial tributário dos prédios urbanos para habitação, comércio, indústria e serviços, com a seguinte expressão:

$$V_t = V_c \times A \times C_a \times C_l \times C_q \times C_v \quad (5.5)$$

V_t - valor patrimonial tributário;

V_c - valor base dos prédios edificados;

A - área bruta de construção mais a área excedente à área de implantação;

C_a - coeficiente de afetação;

C_l - coeficiente de localização

C_q - coeficiente de qualidade e conforto;

C_v - coeficiente de vetustez.

O valor base dos prédios edificados (V_c) corresponde ao valor médio de construção, por metro quadrado, adicionado do valor do metro quadrado do terreno de implantação fixado em 25% daquele valor. O valor médio de construção é determinado tendo em conta os encargos diretos e indiretos suportados na construção do edifício, tais como os relativos a materiais, mão-de-obra, equipamentos, administração, energia, comunicações e outros consumíveis. Para o ano de 2013, o Governo fixou em 482,40 euros (Portaria n.º 424/2012 de 28 de dezembro, DR n.º 251), o valor médio de construção por metro quadrado. Aos 482,40€/m² somam-se mais 25% relativos ao

custo de implantação no terreno, ou seja, 120,60€/m², pelo que no total o valor ascende a 603€/m².

A área bruta de construção do edifício ou da fração e a área excedente à de implantação (A) resultam da seguinte expressão: $A = (Aa + Ab) \times Caj + Ac + Ad$. A área bruta privativa (Aa) é a superfície total medida pelo perímetro exterior e eixos das paredes ou outros elementos separadores do edifício ou da fração, a que se aplica o coeficiente 1. As áreas brutas dependentes (Ab) são as áreas cobertas e fechadas de uso exclusivo, ainda que constituam partes comuns, mesmo que situadas no exterior do edifício ou da fração, cujas utilizações são acessórias relativamente ao uso a que se destina o edifício ou fração, desde que não integrados na área bruta privativa, e outros locais privativos de função distinta das anteriores, a que se aplica o coeficiente 0,30. A área do terreno livre do edifício ou da fração ou a sua quota-parte resulta da diferença entre a área total do terreno e a área de implantação da construção ou construções, aplicando-se-lhe, até ao limite de duas vezes a área de implantação (Ac), o coeficiente de 0,025 e na área excedente ao limite de duas vezes a área de implantação (Ad) o de 0,005. Através da cartografia detalhada, foi possível aferir cada uma das respetivas áreas dos edifícios, multiplicando, quando apropriado, pelo respetivo número de pisos.

O coeficiente de afetação (Ca) depende do tipo de utilização dos prédios edificados (Quadro 5.4). O coeficiente de localização (C) varia entre 0,4 e 3,5, estando o seu zonamento dependente de algumas características, tais como: as acessibilidades (qualidade e variedade das vias rodoviárias, ferroviárias, fluviais e marítimas), proximidade de equipamentos sociais (escolas, serviços públicos e comércio), serviços de transportes públicos, e localização em zonas de elevado valor de mercado imobiliário (Quadro 5.4).

Tipo de Utilização	Coeficiente de Afetação	Coeficiente de localização
Comércio	1,20	0,85
Serviços	1,10	0,6
Habitação	1,00	1,2

Quadro 5.4 Coeficientes de Afetação e Localização dos edifícios em São Pedro de Moel

O coeficiente de vetustez (C_v) é função do número de anos decorridos desde a data de emissão da licença de utilização, quando exista, ou da data da conclusão das obras de edificação, de acordo com o quadro 5.5:

Período de Emissão de Licença de Utilização	Coeficiente de Vetustez
Menos de 2 anos	1
De 2 a 8 anos	0,90
De 9 a 15 anos	0,85
De 16 a 25 anos	0,80
De 26 a 40 anos	0,75
De 41 a 50 anos	0,65
De 51 a 60 anos	0,55
Mais de 60 anos	0,40

Quadro 5.5 Coeficiente de vetustez segundo a idade dos edifícios

A falta de uma prévia base de dados individual dos edifícios revelou alguma dificuldade em determinar a idade dos edifícios. O facto de alguns edifícios puderem ter sido remodelados, dando-lhe uma aparência mais recente, tornou-se outro obstáculo, no entanto, o contacto com os habitantes, a interpretação dos elementos arquitetónicos e estruturais, e a utilização da BGRI permitiram estimar, de uma forma aproximada, o coeficiente de vetustez. Dada a especificidade do coeficiente de qualidade e conforto, o mesmo foi descartado, sendo a aplicação da fórmula, e o seu respetivo resultado, uma aproximação ao verdadeiro valor económico dos edifícios (Figura 5.9).

Para a estimativa do valor económico da rede viária (Quadro 5.6) foram utilizados os valores médios de construção referenciados por Silva (2011):

	Estrada Municipal	Rua Asfaltada	Rua Calcetada
Pavimentações	100.000€/km	75.000€/km	150.000€/km
Terraplenagens	75.000€/km	25.000€/km	25.000€/km
Drenagens	50.000€/km	25.000€/km	25.000€/km
Despesas diversas	25.000€/km	10.000€/km	10.000€/km
TOTAL	250.000€/km	135.000€/km	210.000€/km
(em caso de expropriações)	+150.000€/km	+250.000€/km	+250.000€/km

Quadro 5.6 Montantes de referência para cada tipologia de rodovia (*Adaptado de Silva, 2011*)

Sabendo o valor por quilómetro de cada tipo de estrada, foi fácil determinar que os 657,9 metros de estrada municipal têm um valor monetário de 164.475€, os 56,2 metros de ruas asfaltadas correspondem a 7.587€, e os 2.292,2 metros de ruas calçadas têm um valor monetário de 481.782€ (Figura 5.10). Consegue-se assim aferir o preço de reconstrução, reparação ou manutenção de qualquer lanço de estrada exposto a movimentos de vertente, sendo este tomado como uma possível aproximação ao seu provável custo de reposição.

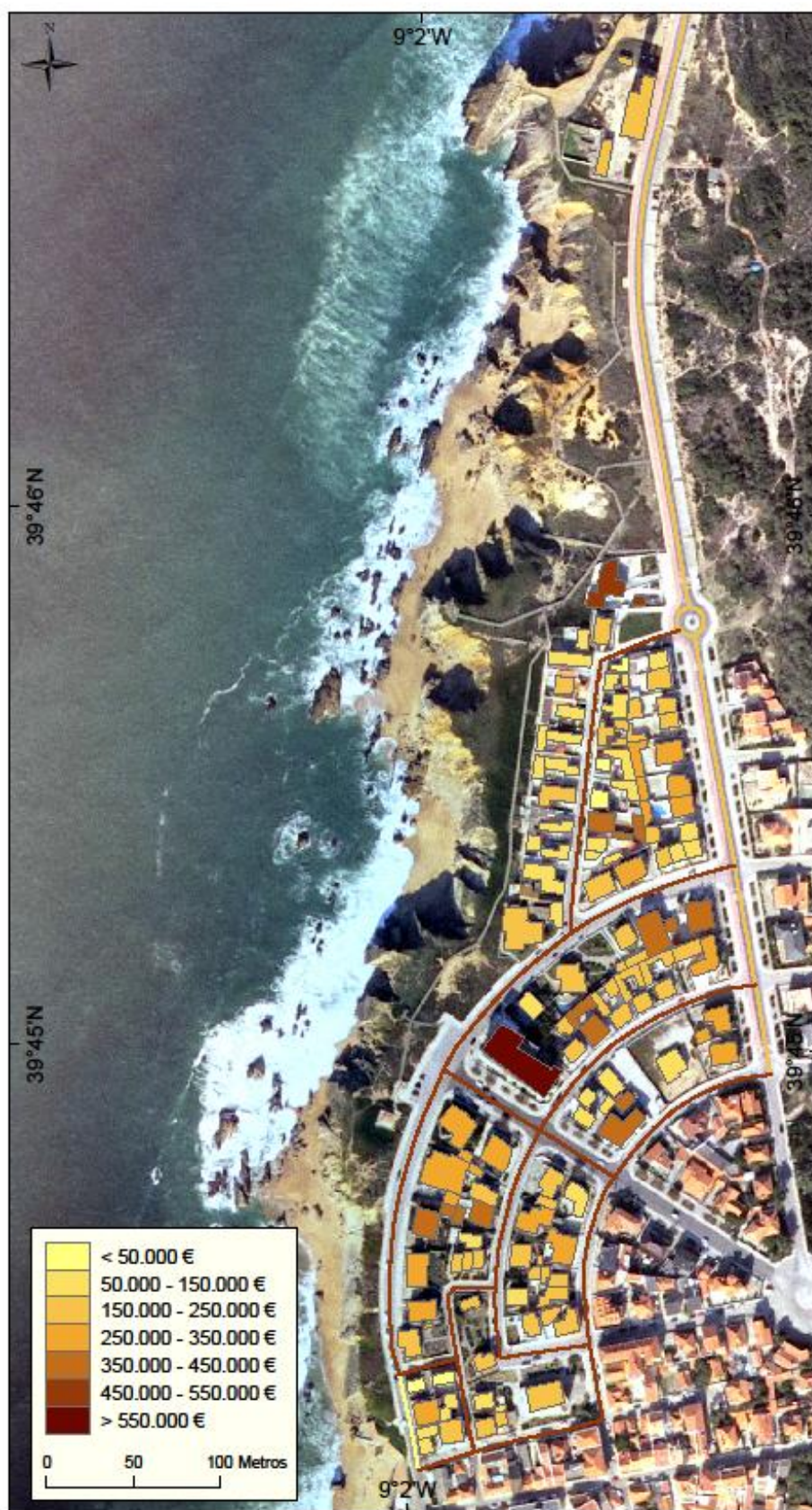


Figura 5.10 Valor económico dos edifícios e rede viária em São Pedro de Moel

5.4 - ANÁLISE DO RISCO: DANO POTENCIAL E RISCO DIRETO

Antes da análise do risco propriamente dita, importa ter noção dos danos potenciais possíveis em São Pedro de Moel por ocorrência de movimentos de vertente nas arribas. O dano potencial expressa os prejuízos expectáveis num elemento, isto é o valor económico direto dos prejuízos, quando afetado por um fenómeno com determinada magnitude (Silva, 2011; Garcia, 2012). Deste modo, o dano potencial corresponde ao produto do grau de perda expectável (vulnerabilidade) pelo valor do elemento em euros:

$$DP = VE \times V\epsilon \quad (6.1)$$

DP – Dano Potencial

VE – Vulnerabilidade Estrutural

V€ - Valor Económico

Aplicando a fórmula (6.1) a um edifício com o valor de 240.000€ e uma vulnerabilidade estimada de 0,29, verifica-se que o dano potencial ascende a 69.600€. Este valor corresponderá a reparações de prejuízos esperados pela ocorrência de uma movimento que afete a estrutura, originando pequenas fraturas e abatimentos. Um lanço de 15 metros de uma estrada municipal com um valor de 3.750€ e vulnerabilidade de 0,35, teria um dano potencial de 1102,5€, relativos aos custos de reparação dos pavimentos e desobstrução da via. No entanto, os valores apresentados baseiam-se na magnitude dos movimentos de vertente, uma vez que esta se reflete na vulnerabilidade dos elementos expostos. O quadro 5.7 sintetiza os danos potenciais para a totalidade dos edifícios e das vias existentes em S. Pedro de Moel, para cada um dos 4 cenários de magnitude considerados neste trabalho.

Cenário de magnitude (área m ²)	Dano Potencial (€)		
	Edifícios	Rede viária	TOTAL
1	636.580 €	29.718 €	666.298 €
10	3.182.898 €	148.590 €	3.331.488 €
100	15.117.184 €	394.560 €	15.511.744 €
1000	18.896.480 €	493.200 €	19.389.680 €

Quadro 5.7 Dano Potencial em São Pedro de Moel, segundo a magnitude (área em m²)

Como seria expectável, a aplicação da fórmula de cálculo do dano potencial para os elementos expostos considerados, evidencia que à medida que a magnitude (área em m²) dos movimentos aumenta também os danos potenciais associados à recuperação/reconstrução dos elementos expostos aumentam. Naturalmente os edifícios apresentam custos soberbamente mais elevados do que a rede viária. De salientar que perante um cenário de magnitude de 1000m² os elementos podem sofrer danos com montantes que atingem o real valor económico do elemento. Para o cenário de 1m² os danos sofridos requerem montantes totais de aproximadamente 666 mil euros. Um cenário de 10m² teria um impacto de 3 milhões de euros, e um cenário de 100m² originaria custos na ordem dos 12 milhões de euros. Na pior das hipóteses, para um cenário de magnitude de 1000m² com destruição total, quer dos edifícios quer da rede viária, os custos diretos ultrapassariam o valor de 19 milhões de euros.

No entanto, a análise de risco deve ter em conta a probabilidade de ocorrência. A análise do risco implica, como foi referido no capítulo 4, a determinação da perigosidade, isto é, a probabilidade espaço-temporal e a probabilidade da magnitude, a identificação e caracterização dos elementos expostos (tipologia, consistência construtiva, valor) e a respetiva vulnerabilidade. Por outras palavras, o risco resulta da conjugação do dano potencial com a probabilidade de ocorrência do fenómeno, tendo em conta os parâmetros espaço, tempo e magnitude (Garcia, 2012). Neste sentido, o cálculo do risco direto adotado neste estudo é aplicado individualmente a cada elemento exposto, através da equação:

$$R = P \times Pm \times VE \times V\text{€} \quad (6.2)$$

P – Probabilidade espaço-temporal

Pm – Probabilidade de magnitude

VE – Vulnerabilidade estrutural

V€ – Valor económico

A equação (6.2) foi aplicada para 4 cenários de magnitude e os resultados estão representados nas figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14, que representam o risco direto dos elementos expostos considerados, em São Pedro de Moel.

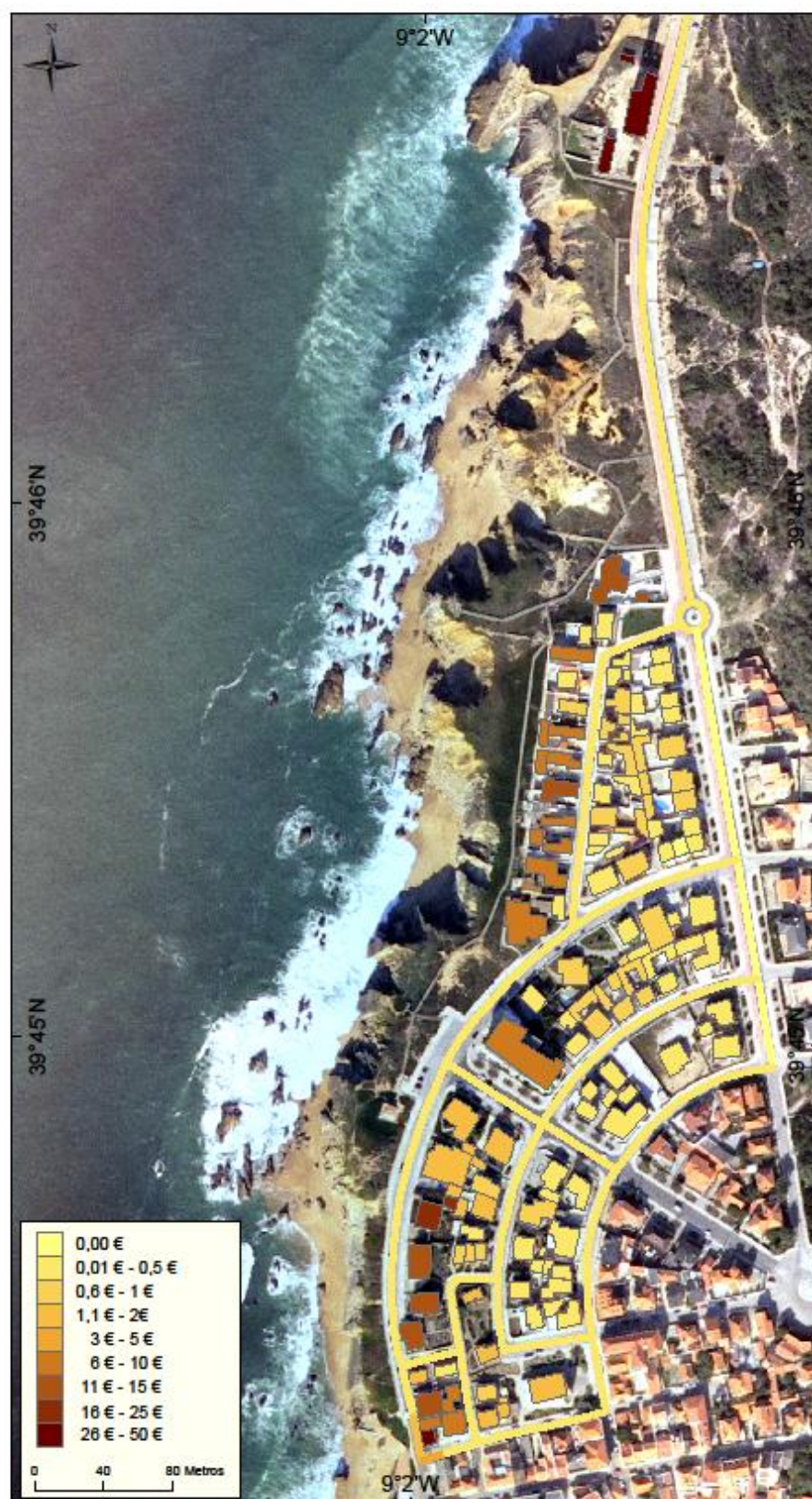


Figura 5.11 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de $1m^2$ em São Pedro de Moel

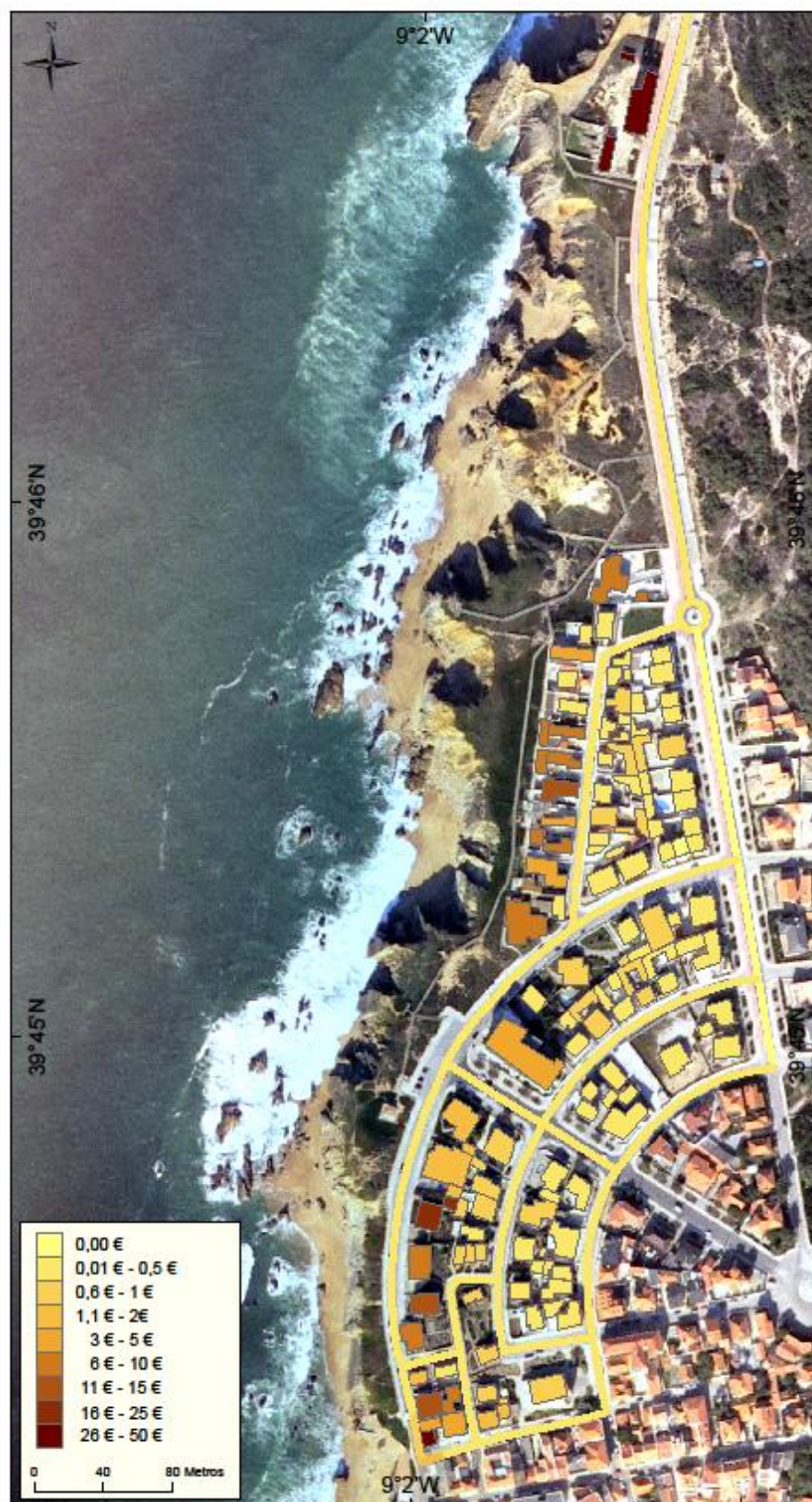


Figura 5.12 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de $10m^2$ em São Pedro de Moel

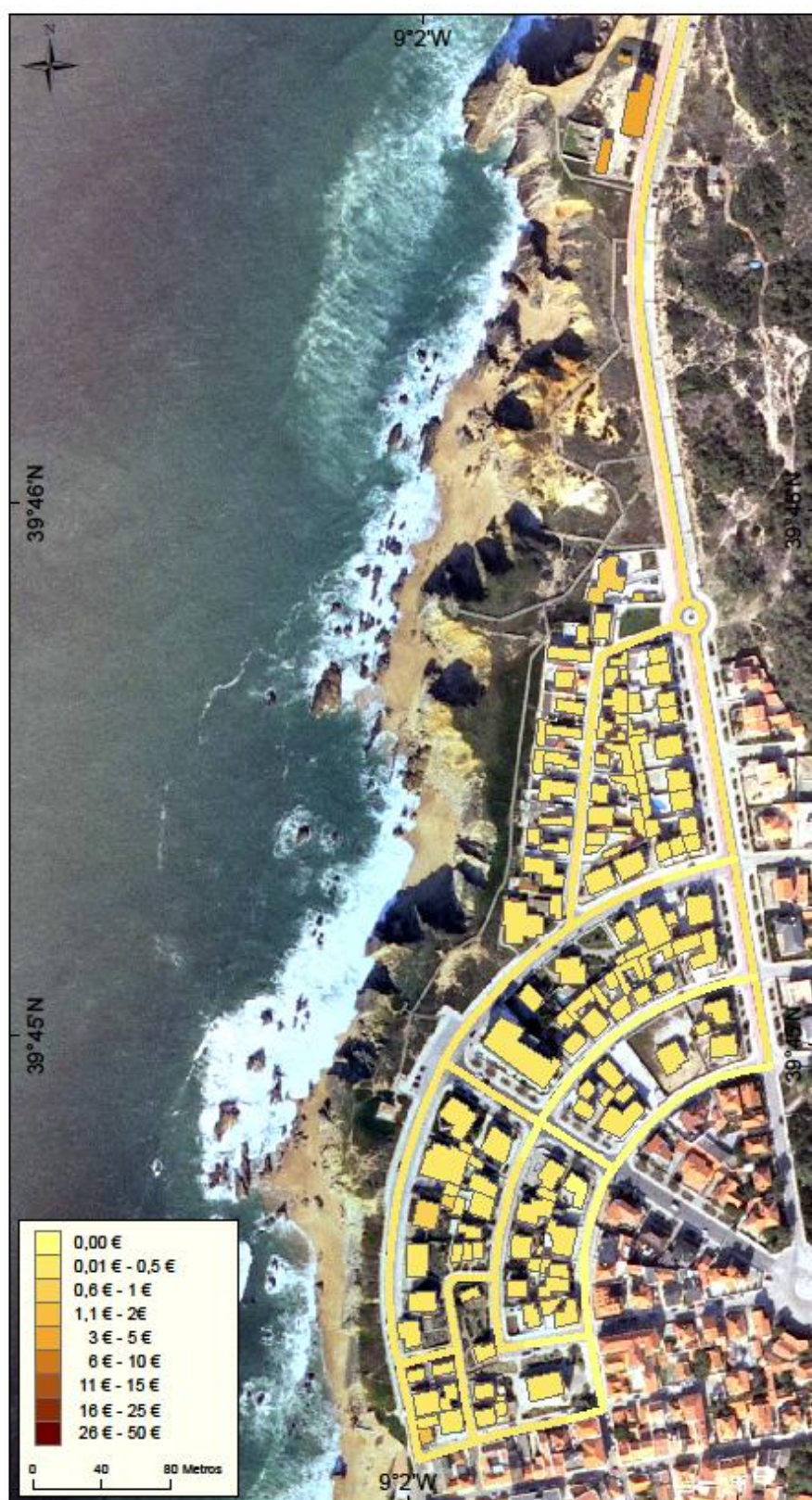


Figura 5.13 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de 100m² em São Pedro de Moel

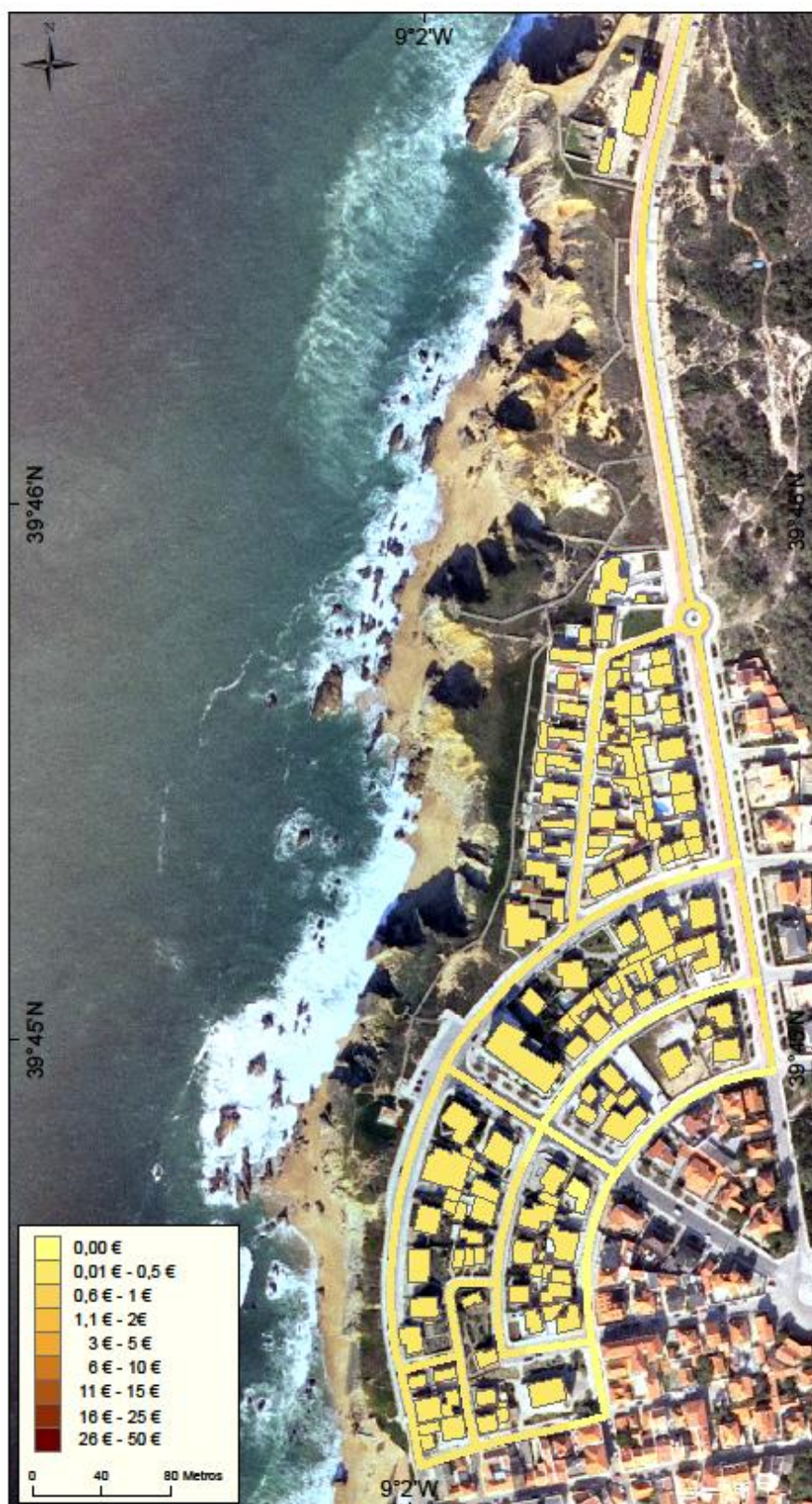


Figura 5.14 Risco direto dos edifícios e rede viária num cenário de magnitude de 1000m² em São Pedro de Moel

Comparativamente ao dano potencial, que apresenta, como se viu, um incremento dos valores com o aumento da magnitude, a cartografia de risco em São Pedro de Moel revela uma situação inversa. No risco direto, com a junção da probabilidade espaço-temporal e da probabilidade magnitude, os valores do risco tendem a diminuir à medida que a magnitude aumenta, em reflexo das probabilidades muito baixas associadas aos movimentos de vertente de maior dimensão. Deste modo, verifica-se que, por exemplo, o edifício do farol (situado na parte norte da área de estudo) para um cenário de magnitude de 1m^2 apresenta um risco no valor de 34,93€, enquanto que para um cenário de magnitude de 1000m^2 o valor do risco é de apenas 0,06€. O Quadro 5.8 sintetiza os valores do risco direto referentes à totalidade dos edifícios e rede viária para os 4 cenários de magnitude considerados.

Risco direto (€)			
Cenário de magnitude (área m^2)	Edifícios	Rede viária	TOTAL
1	283,28 €	11,24 €	294,52 €
10	212,46 €	8,43 €	220,89 €
100	12,16 €	0,30 €	12,46 €
1000	0,23 €	0,00 €	0,23 €

Quadro 5.8 Risco direto em São Pedro de Moel de acordo com a magnitude dos movimentos de vertente (área em m^2)

Os valores de risco total são mais elevados no cenário de magnitude de 1m^2 , onde a soma do conjunto dos dois conjuntos de elementos expostos resulta em 294,52€. A diminuição da probabilidade de magnitude faz-se notar no cenário de magnitude de 10m^2 , onde o valor da soma dos edifícios e da rede viária decresce para 220,89€. Nos cenários de 100m^2 e 1000m^2 os valores resultantes são de, respetivamente, 12,46€ e uns insignificantes 0,23€. Os montantes obtidos são bastante baixos, no entanto devem ser encarados com alguma cautela, e não podem ser mal interpretados. Em primeiro lugar, Risco não é Dano nem Custo, sendo que o seu valor é fortemente influenciado pelas probabilidades baixas. A este respeito, refira-se que 78% dos edifícios e 79,3% das vias existentes na área de estudo apresentam uma probabilidade menor que 0,0001, isto é, uma probabilidade muito reduzida. Por outro

lado, o risco aqui apresentado corresponde a um valor anual, sendo que num período de referência maior, os resultados seriam mais relevantes. Com efeito, para verificar as diferenças nos valores do risco para diferentes períodos temporais, fizeram-se simulações para períodos de 10, 20 e 50 anos. Os resultados encontram-se expressos no quadro 5.9, e verifica-se que efetivamente os valores tende a subir consideravelmente, sendo que no caso do cenário de 50 anos, os valores do risco atingem 14.726,00€.

Risco direto (€)			
Anos	Edifícios	Rede viária	TOTAL
1	283,28 €	11,24 €	294,52 €
10	2.832,80 €	112,40 €	2.945,20 €
20	5.665,60 €	224,80 €	5.890,40 €
50	14.164,00 €	562,00 €	14.726,00 €

Quadro 5.9 Risco direto em São Pedro de Moel, para um cenário de magnitude de $1m^2$, para diferentes períodos temporais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise e avaliação de riscos costeiros revestem-se de bastante complexidade, pois há um grande número de fatores e variáveis, naturais e humanos, que influenciam o comportamento do litoral. No mesmo sentido, a previsão do comportamento futuro das arribas é bastante complexa. Tal complexidade relaciona-se com o fato do recuo estar relacionado com episódios repentinos e esporádicos, dificultando a sua observação e medição. Ainda que com algumas limitações e incertezas, no decorrer deste trabalho tentou-se responder às questões de partida inicialmente propostas: Onde podem ocorrer os futuros movimentos de vertente nas arribas? Qual é a probabilidade? Que elementos estão expostos ao perigo? Qual é o seu valor? Qual é o dano potencial? Qual é o risco?

Proposta por Varnes em 1984, a relação entre os elementos expostos, a perigosidade das áreas onde se localizam e a sua vulnerabilidade, resultará no risco a que os diferentes elementos se encontram expostos. Partindo desta premissa, adotou-se uma metodologia para o estudo pormenorizado de São Pedro de Moel que envolveu a probabilidade de ocorrência espaço-temporal, a probabilidade de magnitude, a vulnerabilidade, e o valor monetário dos elementos. Cada variável foi aplicada elemento a elemento, com um nível de pormenor que permite obter resultados detalhados. Esses elementos correspondem a 91 edifícios e 2294,2 metros de rodovias. Os edifícios são na maioria residências, no entanto destacam-se pelo valor e importância que representam: 1 farol, 1 hotel, 1 posto da força de segurança, e 1 igreja. No total, todos os edifícios apresentam um valor económico somado de 18.896.480€. A rede viária é na maioria composta por ruas calcetadas, existindo um pequeno troço de rua asfaltada e estrada municipal. No total perfazem 493.200€.

A análise da perigosidade permitiu concluir que as áreas mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente são, naturalmente, as que se encontram mais próximas da crista da arriba. Conclui-se que 2 edifícios no valor de 283.750€ e 41 metros de rodovia no valor de 7,200€ estão localizados numa área de elevada probabilidade de ocorrência de movimentos. Em áreas de probabilidade moderada encontram-se 18 edifícios e 421 metros de via. Com uma probabilidade menor que 0,0001, isto é, probabilidades muito reduzidas ou nulas encontra-se a grande maioria do edificado (71 edifícios) e a maior parte da extensão da rede viária (1831 metros).

A análise da probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente com determinada magnitude, elaborada através da relação de magnitude-frequência dos movimentos de vertentes inventariados, é expressa pela reta potencial negativa (*power law*) nos movimentos de média e grande dimensão.

De acordo com Marques (2008), o valor do expoente ($\beta = -1,824$) para a frequência normalizada está ligeiramente abaixo do proposto por Malamud *et al*, 2004. Verificou-se que a probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente com determinada magnitude diminui significativamente em função do incremento da área dos movimentos de vertente.

Na análise da vulnerabilidade estrutural dos edifícios e rede viária, efetuada com base na magnitude e consistência construtiva dos elementos expostos, constatou-se que os movimentos mais pequenos produzem menos danos que os movimentos maiores. Em geral, edifícios e rede viária apresentam danos graves quando sofrem o impacto de movimentos de vertente com dimensão superior a 100m². Nestas circunstâncias, e atendendo ao contexto particular de arriba, considera-se que ocorre a destruição total dos elementos, independentemente da sua resistência estrutural. Inversamente, com movimentos de vertente de 1m² e 10m² os danos esperados serão leves, a estabilidade dos edifícios não será afetada, e na rede viária apenas ocorrem pequenas roturas ou abatimentos.

Em termos de risco direto, verifica-se que os piores cenários correspondem aos movimentos com dimensão entre 1m² e 10m², cuja probabilidade de ocorrência é de 1 e 0,15 respetivamente. Para cenários de magnitude superior, apesar do dano potencial ser mais elevado, o risco estimado é substancialmente inferior, devido à muito baixa probabilidade de ocorrência do cenário. A análise dos custos diretos revela um valor de risco anual na ordem dos 294€, no entanto os danos potenciais contabilizados podem chegar aos 19.389.680€. Uma previsão para 50 anos revela que os valores do risco podem atingir os 14.727,00€.

Os resultados do risco anual obtidos são considerados baixos, no entanto devem ser encarados com alguma cautela, para não serem mal interpretados, pois são reflexo das características metodológicas de análise de risco e das probabilidades relativamente baixas da maior parte dos edifícios vir a ser afetada por um movimento de vertente no processo de recuo da arriba. De facto se um movimento de vertente

com dimensão elevada se declara, os custos reais corresponderão ao dano potencial, que poderá equivaler ao real valor económico do elemento.

Os resultados alcançados nesta dissertação devem ser entendidos como uma primeira abordagem a um assunto marcado por um elevado nível de incerteza, manifestada nas probabilidades de ocorrência de movimentos de vertente e do recuo concomitante da arriba e na determinação da vulnerabilidade estrutural dos edifícios e das vias. Comparativamente, a determinação do valor económico dos elementos expostos, em particular dos edifícios, reveste-se de bastante mais objetividade. No entanto, também o risco expresso em termos económicos tem apenas um valor indicativo, uma vez que o valor do recheio dos edifícios não foi considerado. No mesmo sentido, não foram considerados custos indiretos resultantes da perda de funcionalidade dos elementos expostos, que podem ser muito elevados no caso da interrupção das vias.

Paralelamente, na análise desenvolvida verifica-se que a Rua dos Naturais (Anexo 1) é a que apresenta uma situação mais delicada em S. Pedro do Moel. De facto, nesta rua situa-se o posto da força de segurança da GNR que, devido à importância que representa releva uma localização desajustada, a apenas 15 metros da crista da arriba, com uma probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente moderada.

Pese embora a incerteza que os rodeia, estudos desta natureza podem servir de apoio às entidades responsáveis pela gestão costeira e entidades de socorro e emergência, como a proteção civil, aperfeiçoando os planos que englobem os riscos geomorfológicos, no sentido de evitar perdas humanas e materiais. A sua integração nos instrumentos de planeamento e gestão territorial, nomeadamente em ambiente costeiro (e.g. no POOC), poderá ser uma mais-valia, como incentivo a uma cultura de prevenção, evitando e mitigando o risco.

REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

I LIVROS E ARTIGOS

Alexander, O. (2000) *Confronting Catastrophe – New Perspectives on Natural Disasters*. Oxford: Oxford University Press. 282p.

Aste, J.P. (1991) *Landslide Hazard Analysis - Landslide Risk Mapping*. In Almeida-Teixeira, M.E.; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p.165-170.

Autoridade Nacional de Proteção Civil (2010) *Riscos Costeiros – Estratégias e prevenção, mitigação e proteção no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território*. Cadernos Técnicos, PROCIV nº15.

Bell R. & Glade T. (2004): *Multi-hazard analysis in natural risk assessments*.- In: Brebbia C.A. (ed): *International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation*. WI Press, 26.-29. September, Rhodes (GR), 197-206.

Bell R. ,Glade T. (2004) *Quantitative risk analysis for landslides – Examples from BÍldudalur, NW – Iceland*. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 4: 117 – 131.

Bettencourt, P., Ângelo, C., (1992) Faixa costeira Centro Oeste (Espinho - Nazaré): enquadramento geomorfológico e evolução recente. *Geonovas*, nº especial 1 (A Geologia e o Ambiente), 7-30.

Bird, E. (2008) – “*Coastal Geomorphology*”. An Introduction. Second Edition. John Wiley & Sons, Chichester, England. 414 p.

Bird, E.C.F., (2000) *Coastal Geomorphology An Introduction*. John Wiley & Sons, Chichester. 322 pp.

Buckle, P; Marsh, G.; Smale, S. (2000) *New Approaches to Assessing Vulnerability and Resilience*. *The Australian Journal of Emergency Management*, Vol. 15: 8-14.

Cambers, G. (1976) *Temporal scales in coastal erosion systems*. *Transactions Institute British Geographers*, 1, 246-256.

Chung, C-J. F.; Fabbri, A.G. (2003) Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*. 30: 451-472.

Costa, A.; Appleton, J. (2002) *Estruturas de Betão I - Parte II – Materiais*. Departamento de Engenharia Civil – Grupo de Estruturas de Betão Armado e Pré-reforçado. Instituto Superior Tecnico

Crowell, M., S.P. LEATHERMAN, M.K. BUCKLEY (1991) - “*Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy.*” *Journal of Coastal Research*, Vol. 7, Nº 3, pp. 839-852.

Cruden, D.M. (1991) *A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43: 27-29.

Cunha, Pedro P; Dinis, J.. 1998. “*A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998*”, *Territorium - Revista de Geografia Física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais*, 5: 31 - 50.

Dai, F.C.; Lee, C.F.; Ngai, Y.Y. (2002) *Landslide risk assessment and management: na overview*. *Engineering Geology*. 64: 65-87.

Daveau, S. (1987) - “*O mar e o litoral. Comentários e actualizações*”, in *Geografia de Portugal. I – A posição geográfica e o território*, edit. O. Ribeiro, H. Lautensach e S. Daveau, Edições João Sá da Costa, p. 83-117

De Pippo, T., Donadio, C., Pennetta, M., Petrosino, C., Terlizzi, F., Valente, A. (2008) *Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy*. *Geomorphology* 97, 451–466.

Del río, L.; Gracia, F.J. (2009) *Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments*. *Geomorphology* 112 (1-2), pp. 82-95.

Dias, J. M. Alveirinho (1987) - “*Dinâmica sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*”. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. 384p

Dias, J. A.; Ferreira, O.; Pereira, A. Ramos (1994) Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. Edição eletrónica: w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks.

Direção Geral do Ambiente; 2000; “Relatório do Estado do Ambiente 1999”; DGA.

- Duarte, L. V. & Soares, A. F. (2002) – “*Litostratigrafia das series margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal)*”. Com. Inst. Geol. e Mineiro, 89: 135-154.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., DUARTE, C. B., AZERÊDO, A. C. & COMAS-RENGIFO, M. J. (2008) – “*Litostratigrafia do Jurássico Inferior da região de S. Pedro de Moel (Bacia Lusitânica)*”. A Terra, Conflitos e Ordem. Homenagem ao Professor Ferreira Soares, MMGUC: 175-185.
- Fell R., Ho K.K.S., Lacasse S., Leroi E., (2005) *A framework for landslide risk assessment and management*, Proceedings International Conference on Landslide Risk Management, London,
- Ferreira, António de Brum (2005) – “*Geografia de Portugal Vol 1, O Ambiente Físico*”. Carlos Alberto Medeiros (direção), *Circulo de Leitores*, 495p
- Ferreira, H. Amorim (1950) – “*O clima de Portugal. Estremadura, Ribatejo e Alto-Alentejo*”. Fascículo VI. Serviço Meteorológico Nacional. 48p
- Ferreira, O. & Dias, J. Alveirinho (1997) – “*Avaliação da acção de temporais na costa oeste portuguesa*”. Volume especial “*Colectânea de ideias sobre a zona costeira de Portugal*”, Assoc. Eurocoast-Portugal (Ed.), pp. 429-447.
- Garcia, R. (2012) *Metodologias de avaliação da Perigosidade e Risco Associado a Movimentos de Vertente – Aplicação na Baía do rio Alenquer*. Tese de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa. 437p.
- Garcia, R.; Zêzere, J.L. (2003) *Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise*. III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Livro de Atas, Vila Real, p.299-308.
- Geirinhas, J. (2001) *Conceitos e metodologias: BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação*. Revista de Estudos Regionais – INE- Região de Lisboa e Vale do Tejo, 2º Semestre.
- Glade, T., Anderson, M. & Crozier, M, (2005) *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, Ltd, London, 802 pp
- Glade, T., Crozier, M.J. (2005) *The natural of landslide hazard impact*. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (eds.), *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, pp.43-74.

Glade, T.: *Ranging scales in spatial landslide hazard and risk analysis*, in: Third International Conference on Risk Analysis, edited by Brebbia, C. A., 19–21 June 2002, Sintra, Portugal, 719–729, 2002.

Guzzetti, F. (2005) *Landslide Hazard and Risk Assessment*. Tese de Doutoramento. Universidade de Bona Routledge, London, UK.

Guzzetti, F.; Malamud, B.D.; Turcotte, D.L.; Reichenbach P. (2002) *Power-law correlations of landslide areas in Central Italy. Earth and Planetary Science Letters*, 195, 169–183.

Guzzetti, F.; Reichenbach, P; Cardinali, M.; Galli, M; Ardizzone, F. (2005) *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology*. 72: 272-299

Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., Valigi, D. (2009) *Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, Central Italy. Earth and Planetary Science Letters*. 279:222-229

Hungr, O.; McDougall, S.; Wise, M.; Cullen, M. (2008) *Magnitude-frequency relationships of debris flows and debris avalanches in relation to slope relief. Geomorphology*. 96: 355 – 365.

J. C. Kullberg, R. B. Rocha, A. F. Soares, J. Rey, P. Terrinha, P. Callapez, L. Martins (2006) – “*A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica*”. In *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.). Univ. Évora, pp. 317-368.

Julião, R.P., Nery, F., Ribeiro, J.L., Castelo Branco, M. e Zêzere, J.L. (2009) *Guia Metodológico para a produção de Cartografia Municipal de Risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal*. Autoridade Nacional de Proteção Civil.

Juvandes, L.F.P. e Reis, V.L.F. (2012) *Construção de estruturas de betão armado com varões de FRP*. Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões. Vol. 20 pags 13-24

Juvandes, L.F.P; Reis, V.L.F. (2012) *Construção de estruturas de betão armado com varões de FRP*. Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões.

- Kullberg, J. C.; Machado, S. (2005) *“Cartografia geológica do Mesozóico na AML e aspectos relativos à normalização”*. Cartografia Geológica Aplicada a Áreas Urbanas – O caso da Área Metropolitana de Lisboa, p. 49-61.
- Kullberg, J. C., Machado, S. & Ramalho, M. M., 2006. Legenda da Carta Geológica de Portugal na escala 1:100 000 da Área Metropolitana de Lisboa, Folhas Norte e Sul. In C. Costa (coord.), Carta Geológica de Portugal na escala 1:100 000. Protocolo Colab. Desenv. Cart. Geol. Área Metropolitana de Lisboa. Inst. Geol. Mineiro, Junta Metrop. Lisboa e Fundação Fac. Ciênc. Tecn. (UNL).
- Lange de, W.P., Moon, V.G. (2005) *Estimating long-term cliff recession rates from shore platform widths*. Engineering Geology, 80, pp. 292 - 301.
- Lautensach, H. (1987) *“O mar da plataforma continental e o litoral português”*, in *Geografia de Portugal. I – A posição geográfica e o território*, edit. O. Ribeiro, H. Lautensach e S. Daveau, Edições João Sá da Costa, p. 37-71
- Lema, P. B. e Rebelo, F. (1996) *“Geografia de Portugal. Meio físico e recursos naturais”*. Universidade Aberta. 447p
- Léone, F.; Asté, J. e Leroi, E. (1996) *Vulnerability Assessment of Elements Exposed to Mass Movements: Working Toward a better risk perception*. In: Senneset, K. (Ed.) Landslides, Glissements de Terrain. Rotterdam: Proceedings of the VII International Symposium on Landslides, 263-270
- Malamud, B.D.; Turcotte, D.L.; Guzzetti, F.; Reichenbach, P. (2004) *Landslide inventories and their statistical properties*. Earth Surface Processes and Landforms, 29 (6), 687–711.
- Marques, F.M.S.F. (1997) *As arribas do litoral do Algarve – Dinâmica, processos e mecanismos*. Dissertação doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Marques, F.M.S.F. (2003) *“Landslide activity in Upper Paleozoic shale sea cliffs: a case study along the western coast of the Algarve (Portugal)”*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 62 (4), 299-313.
- Marques, F.M.S.F. (2008) *Magnitude-frequency of sea cliff instabilities*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 1161-1171

Meneses, Bruno M. C. S. (2011) *“Susceptibilidade e Risco de Movimentos de vertente no concelho de Tarouca”*. Dissertação de Mestrado em Geografia física e ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. 155 p.

Moore, L.J., Griggs, G.B. (2002) *Long-term cliff retreat and erosion hotspots along the central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary*. Marine Geology. 181, 265–283

Neves, M. (2004) *Evolução atual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa. 574 p.

Oliveira, S. (2005) *Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo–Garrão (Algarve)*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa 137p.

Panizza, M. (1990) *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d'Impatto Ambientale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.

Pelletier, J. D.; Malamud, B. D.; Blodgett, T.; Turcotte, D. L. (1997) *Scale-invariance of soil moisture variability and its implications for the frequency-size distribution of landslides*. Engineering Geology, 48: 255-268.

Pereira, A. R. (1991) *“A geomorfologia da margem portuguesa portuguesa: conhecimento actual e linhas de pesquisa”*. Prova complementar de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 79p. + 3 mapas em anexo.

Pereira, S. (2009) *Perigosidade a Movimentos de Vertente na Região Norte de Portugal*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.

Picarelli, L.; Oboni, F.; Evans, S.G.; Mostyn, G.; Fell, R. (2005). *Hazard characterization and quantification*. In *Landslide Risk Management*, Editors O Hungr, R Fell, R Couture and E Eberhardt, Taylor and Francis, London, 27-62.

Pinho, L. (2003) *Domínio público marítimo – o seu carácter público e a qualificação das áreas costeiras*. Dissertação de mestrado não publicada (Gestão e Políticas Ambientais). Aveiro: Secção Autónoma de Ciências Sociais, Jurídicas e Políticas, Universidade de Aveiro.

- Pinho, L., Albuquerque, H & Martins, F. (2008) *Vozes do mar não chegam a terra – segunda residência em áreas de risco costeiro*. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 17, 77-87
- Pinto, C., Vinhas, A. (2011) *Gestão de Riscos Costeiros em Litoral de Arriba: Planeamento e Medidas de Gestão Operacional*. Comunicação.
- Popescu, M. (1994) *A suggested method for reporting landslide causes*. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 50: 71-74.
- Priest, G.R., (1999) *Coastal shoreline change study northern and central Lincoln County, Oregon*. *J. Coast. Res.* SI 28, 140–157.
- Quaresma, L. (2009) *“WIBM – West Iberian bathymetry model”*. Projecto OC MITIC/09. Divisão de Oceanografia. Instituto Hidrográfico.
- Ramalho, M; Pais, J.; Rey, J.; Berthou, P.; Alves, C.; Palácios, T.; Leal, N.; Kullberg, M. (1993) *Notícia explicativa da folha 34-A – Sintra* (Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000). Serviços Geológicos de Portugal, 77 p.
- Ribeiro, J. (2009) *“Carta regional de competitividade do Pinhal Litoral/Oeste”*. Associação industrial Portuguesa. Volume III.
- Ribeiro, L. e Gamito T. (2011) *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4. Caracterização geral e diagnostico – caracterização geológica e geomorfológica*. ARH do Centro I.P – Administração da Região Hidrográfica do Centro I.P. 41 p.
- Ribeiro, O. (1968) *“Excursão à Estremadura e Portugal Central”*. *Finisterra* (6) III, Lisboa pp.274-299. Stratigraphic implications. *J. Sedim. Petrol.*, 62, 1130-1146.
- Richmond, B.M., Fletcher, C.H., Grossman, E.E., Gibbs, A.E. (2001) *Islands at risk: coastal hazard assessment and mapping in the Hawaiian islands*. *Environ. Geosci.* 8, 21–37.
- Santos, G. M (1996) *A residência secundária no âmbito da geografia dos tempos livres : análise comparativa dos casos de S. Pedro de Moel e Praia da Vieira*. *Cadernos de Geografia: Universidade de Coimbra*. - Nº 12 (1993), p. 145
- Silva, M F. S. (2011) *Avaliação de Vulnerabilidade estrutural de edifícios e rede viária a deslizamentos translacionais superficiais no concelho de Santa Marta de Penaguião*. Dissertação de mestrado em sistemas de informação geográfica e ordenamento do território apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto.

Sunamura, T. (1992) *Geomorphology of rocky coasts*. John Wiley & Sons, Chichester, 302 p.

TAVARES, A. O., DUARTE, L. V. & C. DUARTE (2010) Avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa nas arribas costeiras entre S. Pedro de Moel e a Praia da Polvoeira. e-Terra, VIII Congresso Nacional de Geologia, v. 9, nº6, 4p.

Teixeira, S.B. (2006) Slope mass movements on rocky sea-cliffs: a power-law distributed natural hazard on the Barlavento Coast, Algarve, Portugal. *Cont. Shelf Res.* 26,1077–1091.

Teixeira, S.B. (2009) *Geodinâmica, Ocupação e Risco na Praia Maria Luísa*, ARH, Faro.

Trenhaile, A. S. (1987) *The Geomorphology of Rock Coasts*. Oxford University Press, Oxford, U.K. 393 p

Trenhaile, A. S., Kanyaya, J. I. (2007) *The role of wave erosion on sloping and horizontal shore platforms in macro- and mesotidal environments*. *Journal of Coastal Research* 23, 298-309.

UNDRO (1979) *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* - Report of Expert Group Meeting 9-12 July 1979, Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, Geneva.

Varnes, D. (1978) Slope Movement Types and Processes. *In*: Schuster, R., Krizek, R. (eds.), *Landslides-Analysis and Control: Transportation Research Board*. Special Report 176, pp. 11-28.

Varnes, D. (1984) *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*. UNESCO, Paris. 63p.

Vieira, C. e Vaz, N. (2009) estabilização das arribas de São Pedro de Moel. Câmara Municipal da Marinha Grande. Lisconcebe.

WPWLI – UNESCO (1993) *Multilingual landslide glossary*. IGS, Canadian Geotechnical Society, Richmond.

Zêzere, J. L. (2005) *Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos* – Programa. Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, Rel. Nº 41, Lisboa.

Zêzere, J. L. (2007) *Riscos e Ordenamento do Território*. Inforgeo, Julho, 59 -63.

Zêzere, J.L., Ramos, C., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S. (2008) “*Riscos e Protecção Civil – Diagnóstico Estratégico*”, Lisboa, CCDR-LVT, PROTOVT, 34 p.

Zêzere, J.L.; Garcia, R.A.C.; Oliveira, S.C.; Reis, E. (2008) Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 94, 3-4, Elsevier, p.467-495.

II DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Carta Geológica de Portugal. Escala 1:500 000. Folhas 22 –D (Alcobaça), 26-B (Alcobaça), 26-D (Caldas da Rainha). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa

III DOCUMENTOS ESTATÍSTICOS

Censos 1970: XI Recenseamento geral da população, I recenseamento geral da habitação. Portugal – INE (Instituto Nacional de Estatística)

Censos 1981: XII Recenseamento geral da população, II recenseamento geral da habitação. Resultados provisórios. Distrito de Leiria – INE (Instituto Nacional de Estatística)

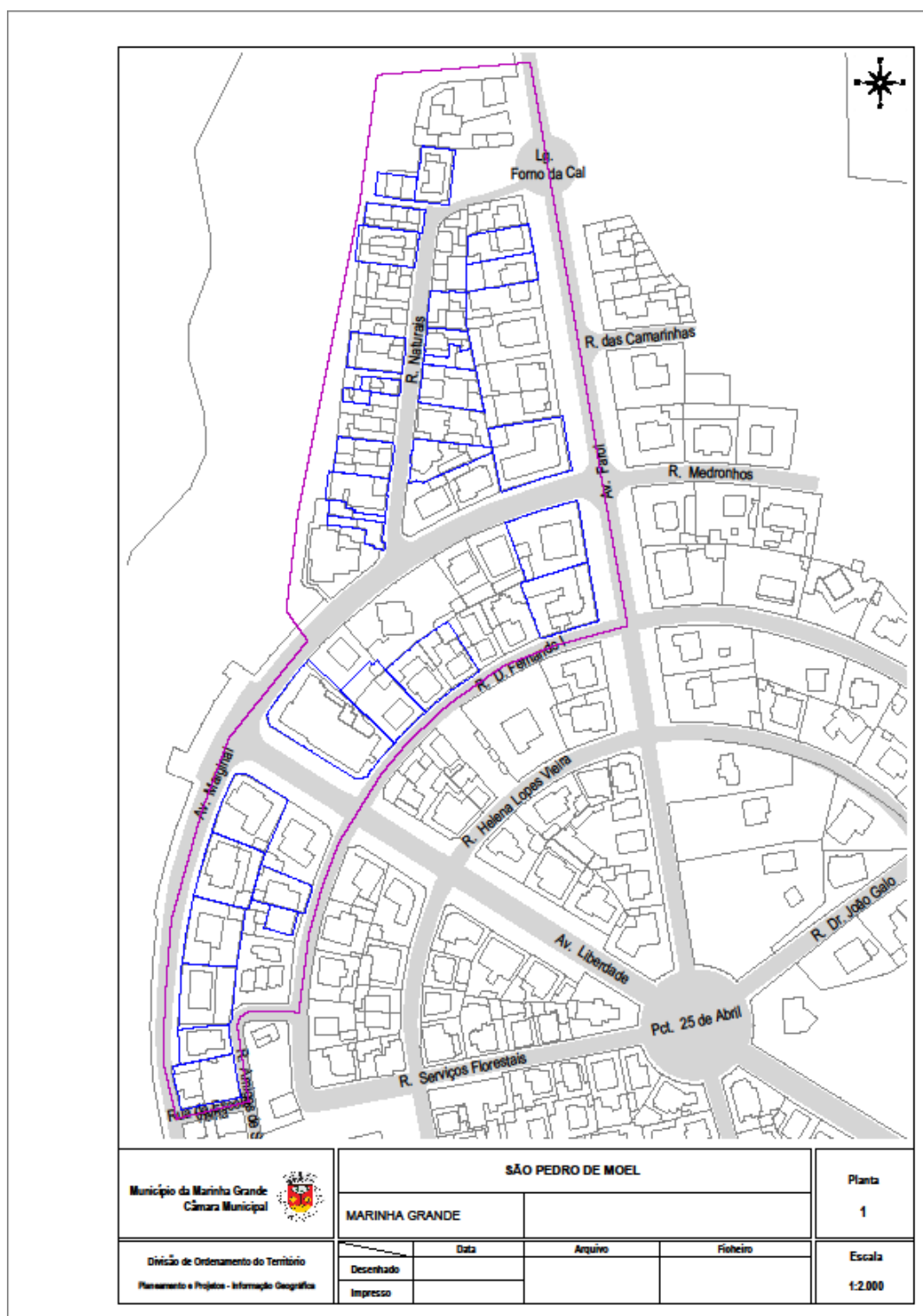
Censos 2001: XIV Recenseamento geral da população, IV recenseamento geral da habitação. Distrito de Leiria – INE (Instituto Nacional de Estatística)

Censos 2011: XV recenseamento geral da população, V recenseamento geral da habitação. Portugal – INE (Instituto Nacional de Estatística)

Normais Climatológicas da Região de “Ribatejo e Oeste”, correspondentes a 1951-80. *O Clima de Portugal*, Fasc. XLIX, Volume 2 – 2ª região, Instituto Meteorológico e Geofísica, ISSN 0870 – 4767, Lisboa, 1991

Normais Climatológicas do Continente, Açores e Madeira, correspondentes a 1931-60. *O Clima de Portugal*, Fasc. XIII, Serviço Meteorológico Nacional, Lisboa, 1965

ANEXOS



Anexo 1 Planta 1.200 de São Pedro de Moel. *Fonte:* Divisão de Ordenamento do Território da Câmara Municipal da Marinha Grande